

SISTEMA DE MEDIDA DOS ELEMENTOS DO CLIMA

Maria Olímpia Melo Campos

Aluna da : Universidade do Vale do Paraíba - Bolsa PIBIC / CNPQ
Avenida dos Astronautas, 1758 - Jardim da Granja

Orientador : Dr. Jesus Marden dos Santos, Pesquisador, Coordenador
da área de Ensino e Documentação

Muitos estudos têm sido desenvolvidos para caracterizar a zona de conforto térmico do homem quando vestido ou não. Alguns deles podem ser aplicados a uma variação específica de ambientes e seu uso pode necessitar de alguma adaptação quando aplicado para outros homeotermos que não o homem.

Lee e Henschel (1966) definiram três conjuntos de variáveis envolvidas na medida do efeito do calor em humanos: condições ambientais, metabolismo, idade e sexo. Três parâmetros como sensação, tolerância ao calor e necessidade de água podem ser quantificados com base em seis variáveis : temperatura do ar, umidade do ar, movimento do ar, calor radiante, taxa metabólica e vestimentas.

Em projetos de ambientes abertos, são estudados parâmetros que auxiliam o estudo do índice de conforto térmico humano (CTH) em ambientes fechados. Na determinação do CTH, o parâmetro mais complexo e importante é a radiação solar global.

Foram desenvolvidos dois estudos para a resolução deste problema. O primeiro consiste em um termômetro de radiação de forma cilíndrica (CRT) desenvolvido por Brown e Gillespie (1986) que consiste num cilindro vertical capaz de medir a carga térmica radiante em ambientes externos.

O segundo modelo (Brown 1985) é um conjunto de equações baseadas em definições meteorológicas. Este modelo utiliza dados de uma estação meteorológica e parâmetros físicos de um determinado local, para estimar a radiação absorvida pelo cilindro vertical.

A teoria da convecção livre estabelece algumas equações para se calcular o fluxo de calor em seu interior:

$$R_{abs} = \sigma (T_{crt} + 273.5)^4 + (I_{cp}) (T_{crt} - T_{air}) / r_m$$

$$r_m = D / (A Re^n Pr^{0.33} K)$$

onde ;

σ = constante de Stefan Boltzman - $5.67 \times 10^{-8} \text{ W} / \text{m}^2 \text{K}^4$

I_{cp} = capacidade volumétrica de calor do ar - $1200 \text{ J} / \text{m}^3 \text{K}$

T_{crt} = temperatura de equilíbrio do CRT - $^{\circ}\text{C}$

T_{air} = temperatura do ar - $^{\circ}\text{C}$

Re = Número de Reynolds $Re = VD / \nu$

Pr = número de Prandtl = 0.71

V = fluído livre da viscosidade do ar

ν = viscosidade cinemática

K = difusão térmica do ar

O cilindro vertical é considerado como o volume geométrico que mais se aproxima da forma humana, podendo ser utilizado também em ambientes fechados.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

ESTUDO DOS ELEMENTOS DO CLIMA

BOLSISTA : MARIA OLÍMPIA MELO CAMPOS
ORIENTADOR : DR. JESUS MARDEN DOS SANTOS

RELATÓRIO FINAL

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
JULHO DE 1996

ÍNDICE

RESUMO

1.) INTRODUÇÃO

2.) REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.) PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.) RESULTADOS

5.) CONCLUSÃO

6.) BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ADENDO

RESUMO

Esta pesquisa, é parte de um projeto que visa reconhecer os problemas e necessidades das escolas de primeiro e segundo grau da rede de ensino do município de São José dos Campos, para propor ações que possam conduzir à melhoria das condições de ambiência das salas de aula.

A avaliação do desempenho térmico de uma edificação consiste basicamente, em verificar se o ambiente interno atende ou não a um conjunto de requisitos pré-fixados em função das exigências do usuário quanto ao seu conforto térmico.

As exigências humanas de conforto térmico, de acordo com a norma da ANSI/ASHRAE, determina que pelo menos 80 % dos ocupantes expressem satisfação quanto as condições de trabalho no ambiente.

Visando estudar em detalhes, as condições de carga térmica ambiental, desenvolveu-se um sistema de medidas de registros simultâneos de algumas variáveis como: radiação ambiente, temperatura do ar e velocidade do vento.

A pesquisa de campo deverá ser efetuada em escolas da zona urbana e da zona rural, e em cada região será selecionada uma escola considerada como padrão e as outras terão a qualidade de conforto térmico comparada com estas.

1.) INTRODUÇÃO

Os seres humanos estão sempre expostos às variações do tempo, como temperatura, umidade do ar, vento e radiação solar.

Pesquisadores como Lee e Henschel (1966) definiram três conjuntos de variáveis que condicionam as trocas de calor entre homeotermos como condições ambientais, fatores humanos (metabolismo, idade, sexo, etc) e a definição do critério da ação e reação estimada (sensação, tolerância e necessidade de água). Esses três parâmetros podem ser quantificados em termos de seis variáveis : temperatura do ar, umidade do ar, movimento do ar, calor radiante, taxa metabólica e vestimenta.

Estes mesmos autores propuseram um Índice de Stress Relativo (RSI), que permite prever os prováveis efeitos do ambiente no conforto térmico humano e pode ser utilizado para estimar a tolerância em diferentes capacidades fisiológicas ou taxas metabólicas. Foi então desenvolvido um Índice de Stress Relativo :

$$RSI = \frac{[10.7 + 0.74(T_a - 35)]}{0.44P_a}$$

onde: T_a = temperatura do ar (°C);

P_a = pressão do ar (mmHg ou hP).

O valor RSI é uma relação entre o esfriamento evaporativo ativo necessário para compensar o estresse pelo calor, e o esfriamento evaporativo máximo que o animal pode obter através de meios fisiológicos. Esta equação foi baseada na condição padrão de uma pessoa andando a 1 m/s, com velocidade do vento de 0,5 m/s e vestindo uma roupa leve.

Tem sido reconhecido que o desenvolvimento de um índice de conforto térmico é difícil, senão impossível, quando baseado apenas nos dados meteorológicos. As respostas variam de espécie para espécie. Devido a essas variações, os índices desenvolvidos para o homem não são diretamente aplicados aos animais domésticos, enquanto muitos índices assumem constância para várias respostas, tais como : taxa metabólica, suor, respiração e consumo de alimento, na realidade eles também variam muito (Baerta, 1987).

Devemos então considerar os fatores metabólicos do animal.

Lee e Henschel realizaram uma pesquisa na Grécia em 1987 e 1988, calculando o índice de stress relativo, considerando algumas atividades como trabalho de escritório, trabalhos manuais e mesmo atividades sedentárias. Foram considerados diferentes tipos de metabolismo, como em pessoas jovens (faixa de 25 anos), mas que não estão acostumadas com o ambiente da Grécia (Average person), pessoas residentes, ou seja, acostumadas com o clima (Acclimatised person) e idosos (old person). Os índices de conforto encontrados foram classificados em grupos da seguinte maneira:

Confortável - neutralidade térmica, satisfação geral e falta de ansiedade;

Desconfortável - sensação de calor e frio, ansiedade e desconforto geral;

Angústia - desconforto físico, falta de concentração, pânico e agonia;

Perda do equilíbrio emocional - mudanças nos batimentos cardíacos e possibilidade de um colapso;

Performance - capacidade de realizar um trabalho proveitoso;

Tolerância - taxa na qual o ambiente torna-se desagradável e inadequado.

Condições	% da população	“Average Person”	“Acclimatised Person”	“ Old Person ”
Confortável	100	<1	<2	1
Desconfortável	100	2&3	3-5	2
Angustiado	100	4&5	6-10	3
Perda do equilíbrio emocional	100	>5	>10	>3
Performance	100	<3	<6	<1
Tolerância	100	<6	<8	<2

O “ Estudo dos Elementos do Clima ” visa a avaliação de carga térmica ambiente sobre humanos. Esta preposição aparentemente simples, engloba, uma sistemática de análise, cuja complexidade reside nas grandezas envolvidas, quase todas variáveis em relação ao tempo, e nos aspectos subjetivos inerentes às exigências humanas. Neste processo depara-se com algumas etapas onde as tomadas de decisão dependem de um grande número de informações que devem ser previamente processadas. Essas etapas correspondem, por um lado, à seleção dos elementos do clima envolvidos e, por outro lado, à definição das condições que caracterizam o conforto térmico. Isto significa responder objetivamente a duas perguntas. Qual o nível de conforto térmico exigido ? Para que condições climáticas será feita a avaliação, e de que forma ?

Para responder a estas questões, elaborou-se um sistema de coleta de dados meteorológicos, como temperatura do ar, velocidade do vento e fluxo de radiação solar de onda curta e de onda longa no ambiente, que serão analisados através dos dados obtidos experimentalmente.

2.) REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A meta principal do conforto térmico têm sido a criação de climas artificiais em ambientes internos, para as pessoas viverem e desenvolverem seus trabalhos com conforto, durante o maior tempo possível. A tecnologia utilizada para tornar ambientes confortáveis tem se tornado cada vez mais dispendiosa, tornando mais freqüente a procura de medidas alternativas com um menor consumo de energia.

No estudo do conforto térmico fora considerados alguns índices de perda ou ganho de calor, e através destes dados podemos relacionar o balanço térmico do corpo como sendo :

$$M \pm R \pm C - E = 0$$

Isto significa que, para manter o equilíbrio térmico, o calor metabólico (M), criado quimicamente dentro do corpo humano, juntamente com o calor ganho ou perdido pela radiação (R), a convecção (C) e o calor perdido por evaporação (E) devem somar zero.

O corpo humano apresenta maior eficiência a uma temperatura central de 37°C. Uma queda na temperatura do corpo pode ser evitada aumentando-se a taxa de metabolismo através de atividade muscular involuntária (tremor). Também pode ser evitada aumentando-se a quantidade de calor obtida através da radiação e convecção. Para evitar o aquecimento exagerado, o corpo humano usualmente recorre ao suor e à palpitação. O aquecimento exagerado também pode ser evitado através da eliminação do calor ganho por meio da radiação ou pela convecção ou por meio do aumento do calor perdido através da evaporação.

Em projetos de ambientes abertos, são estudados parâmetros que auxiliam o estudo do índice de conforto térmico humano (CTH) em ambientes internos. E dentro desse índice, o parâmetro mais complexo e importante é a radiação solar.

A radiação térmica é a energia radiante emitida pelos corpos em virtude de sua temperatura.

A figura a seguir representa o balanço de energia, ou seja, a influência da atmosfera sobre a radiação solar.

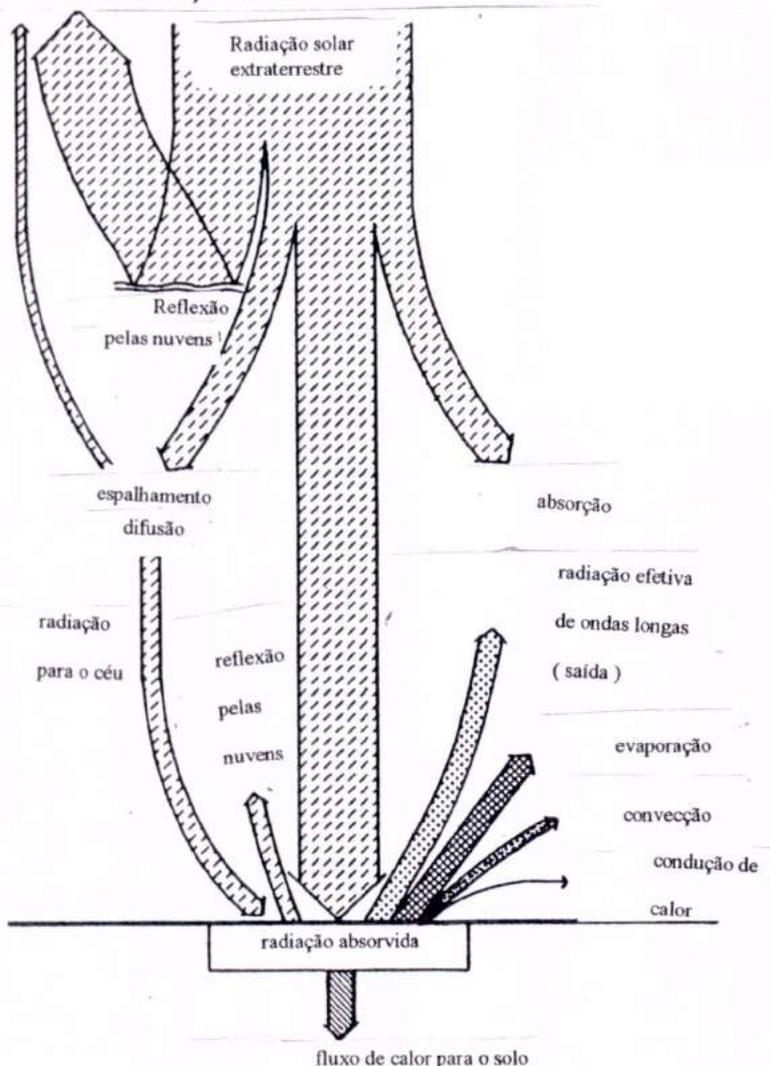
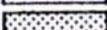
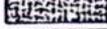
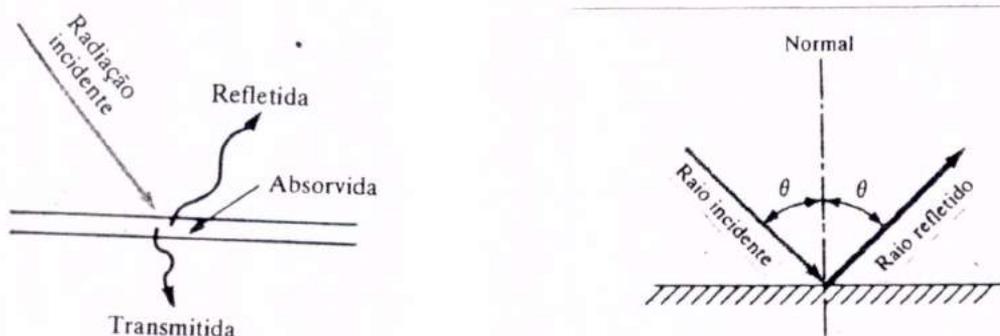


Figura do balanço de energia :

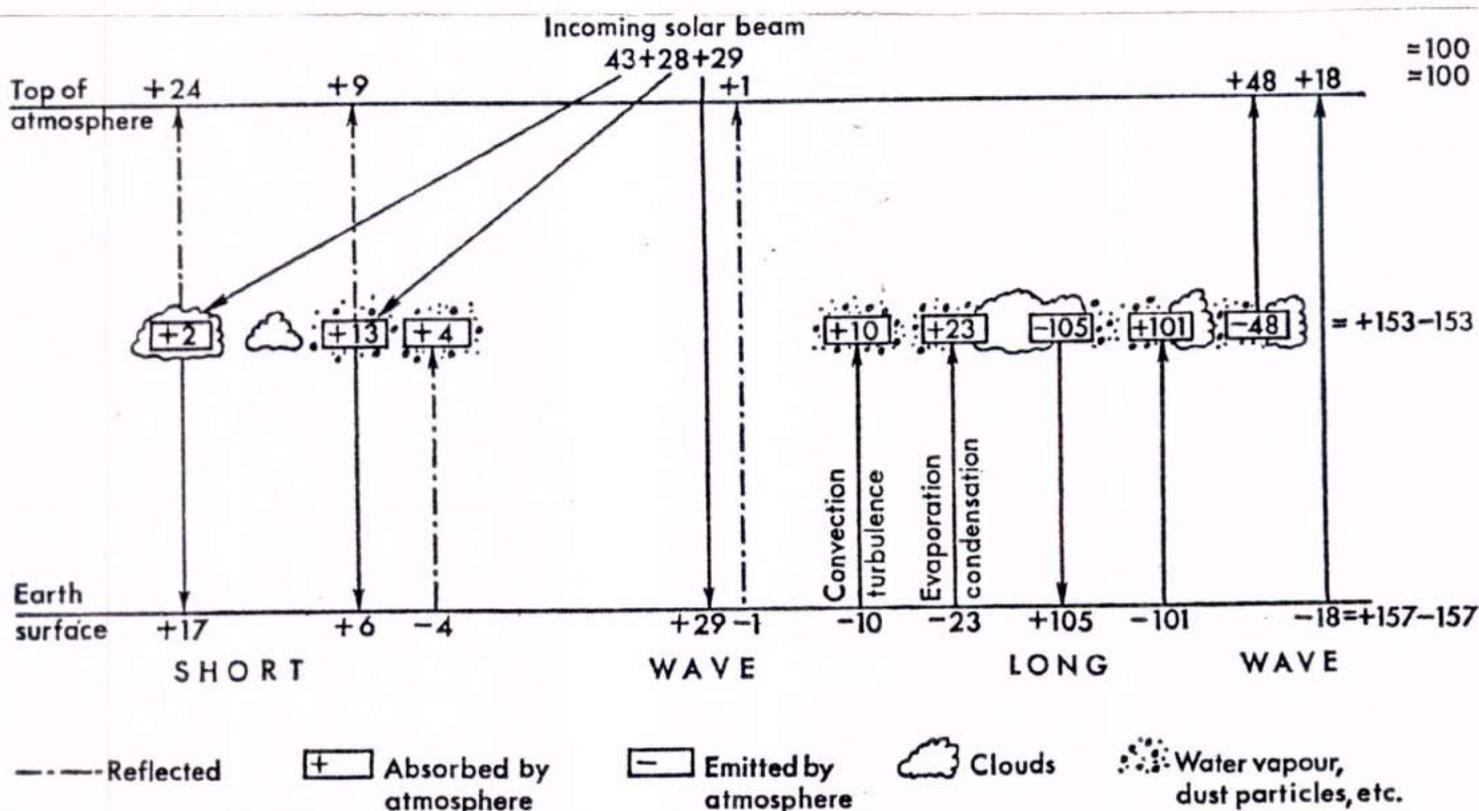
-  radiação de onda curta
-  radiação de onda longa
-  condução de calor molecular
-  convecção
-  mudanças do estado físico da água

Como o solo a atmosfera absorve e emite energia radiante. Embora a atmosfera seja quase transparente à radiação em ondas curtas, ela representa alta capacidade de absorção de radiação infravermelha. A figura abaixo ilustra a reflexão, absorção e transmissão de radiação por um material semitransparente.



Os principais absorventes da radiação infravermelha dentre os constituintes da atmosfera são o vapor d'água (5,3 μm a 7,7 μm e além de 20 μm), o ozônio (9,4 μm a 9,8 μm), o bióxido de carbono (13,1 μm a 16,9 μm) e as nuvens, que absorvem radiação em todos os comprimentos de onda. Enquanto a atmosfera absorve somente 24% da radiação solar que atinge a Terra, que é de ondas curtas, somente 9% da radiação terrestre infravermelha é liberada diretamente no espaço.

Os 91% restantes são absorvidos pela atmosfera. A ilustração a seguir mostra uma dentre as várias ilustrações existentes sobre balanço de energia.



A atmosfera reirradia a radiação terrestre e solar absorvida, em parte para o espaço e em parte de volta para a superfície terrestre (contraradiação).

A parte da radiação solar que não é espalhada e nem absorvida pela atmosfera, e que atinge a superfície, vinda de todas as direções do firmamento é a radiação solar difusa. A componente difusa varia cerca de 10% do total num dia claro, a quase 100% num dia nublado. A radiação solar global é a somatória da radiação solar difusa com a radiação solar direta.

O céu pode ser considerado como um sorvedor de calor para todos os corpos e superfícies da terra. As trocas de calor por radiação de onda longa entre a terra e o céu e entre a atmosfera e o espaço, permite a manutenção de uma temperatura de equilíbrio.

Os fluxos de energia que induzem a circulação geral da atmosfera contra a dissipação de energia pelo atrito, são produzidos por uma distribuição espacial não homogênea das fontes e sorvedouros de calor atmosférico, isto é , aquecimento nas baixas e resfriamento nas altas latitudes.

Pode-se relacionar também no balanço de energia térmica, o fluxo de radiação líquida à transferência de calor latente e de calor sensível, entre outros, na equação sob a forma:

$$R = LE + H + G + \Delta f + P$$

onde R é o balanço de radiação ou radiação líquida, LE é o calor latente de evaporação (quando o vapor d'água, levado das baixas latitudes em direção aos pólos, se condensa na atmosfera), H é o calor sensível (transferência de calor sensível em direção aos pólos, pela circulação atmosférica e pelas correntes oceânicas das baixas latitudes), Δf é a advecção horizontal total de calor pelas correntes, G é o calor transferido para dentro ou para fora da armazenagem e P é a energia usada para a fotossíntese.

A quantidade de energia solar recebida por uma superfície no nível do mar depende da orientação da superfície em relação ao sol, da hora do dia, do dia do ano, da latitude do ponto de observação e das condições atmosféricas.

O fluxo total de energia solar q_t recebida por unidade de área de uma superfície ao nível do mar consiste nas componentes direta e difusa. Seja q_{df} (em watts por metro quadrado) a radiação solar difusa incidente sobre uma superfície horizontal, e seja q_D o fluxo de radiação solar direta, no nível do mar. Seja θ o ângulo de incidência, isto é, o ângulo entre o raio do sol e a normal à superfície. Então, o fluxo de energia solar total q_t , recebido pela área unitária da superfície no nível do mar, é :

$$q_t = q_D \cos \theta + q_{df} \text{ (W / m}^2 \text{)}$$

O ângulo de incidência θ pode ser relacionado ao ângulo de inclinação (isto é, o ângulo entre o plano horizontal e a superfície), à latitude (a distância angular ao equador) e a declinação (ângulo entre o raio do sol e o plano equatorial no meio - dia solar)

Os registros diários e a quantidade de radiação solar recebida em um dado local sobre a superfície da terra são essenciais para o projeto e otimização dos sistemas de transferência de calor que empregam a energia solar. Esta informação é também útil para

finalidades arquitetônicas, agrícolas, biológicas e outras. Por isso, realizam-se continuamente medidas de radiação solar com dispositivos monitores de radiação localizados em diferentes partes do globo. Essas medidas geralmente incluem:

- 1) O fluxo de radiação solar direta q_D na incidência normal;
- 2) O fluxo de radiação solar difusa;
- 3) O fluxo total (ou global) de radiação solar q_t , que é a soma da radiação solar difusa com a direta recebida por uma superfície horizontal;
- 4) O fluxo total de radiação solar sobre uma superfície inclinada com uma orientação especificada.

Foram analisados dois estudos para a determinação do índice de conforto térmico. O primeiro estudo consiste em um termômetro de radiação cilíndrica (CRT) desenvolvido por Brown e Gillespie (1986) que consiste em um cilindro vertical capaz de medir a carga térmica radiante em ambientes externos.

O cilindro vertical é denominado como a forma geométrica que mais se aproxima do homem quando exposto a radiação de ondas curtas e ondas longas, com valores de emissividade em torno de 1,0 e de albedo em torno de 0,37, aproximando desta forma ao efeito recebido por uma pessoa nestas mesmas condições.

O fluxo de entrada e saída de energia de um corpo se identifica como um aspecto importante para o conforto térmico (Waggoner, 1963), e os maiores fluxos de energia envolvidos são : perda de calor por evaporação, troca de radiação entre corpos, perda e ganho de calor convectivo, e a produção de calor metabólico. O estudo do cilindro testa a energia armazenada incluindo o efeito do vento na resistência térmica da roupa, versus a taxa de conforto térmico numa ampla variedade de situações micrometeorológicas.

O segundo modelo (Brown 1985) é um conjunto de equações baseadas em definições Meteorológicas. Este modelo utiliza dados de uma estação meteorológica e parâmetros físicos de um determinado local, para estimar a carga térmica absorvida pelo cilindro vertical.

Utilizando a analogia da Lei de Ohm para convecção, e considerando a resistência do fluxo de calor para um cilindro com 1,3 cm de diâmetro da teoria de transferência de calor, obtemos a energia armazenada para o cilindro.

$$R_{abs} = \sigma (T_{crt} + 273,15)^4 + (IC_p) (T_{crt} - T_{air}) / r_m$$

onde :

- σ = constante de Stefan Boltzman - $5,67 \times 10^{-8} \text{ W / m}^2 \text{ K}^4$
- IC_p = Capacidade volumétrica de calor do ar - $1200 \text{ J / m}^3 \text{ K}$
- T_{crt} = Temperatura de equilíbrio do CRT (°C)
- T_{air} = Temperatura do ar (°C)

Para a medida da resistência r_m , usa-se a seguinte fórmula :

$$r_m = D / (A Re^n Pr^{0,33} K)$$

onde :

Re = Número de Reynolds $\rightarrow Re = VD / \nu$

Pr = Número de Prandt = 0,71

D = Diâmetro do cilindro

V = Fluido livre da viscosidade do ar

ν = Viscosidade cinemática

K = Difusão térmica do ar

A e n são constantes empíricas obtidas através de experimentos de fluxo de calor nos cilindros. Forma considerados da Teoria de Transferência de Calor para convecção forçada em cilindros , os seguintes valores :

A = 0,66

n = $\frac{1}{2}$

No entanto, não é necessário que o cilindro tenha o mesmo diâmetro que o ser humano, porque o fator de convecção é estimado independentemente.

A analogia de Lei de Ohm foi utilizada (e.g. Campbell, 1977) para descrever o fluxo de calor onde foram utilizados certos parâmetros como : temperatura interna corporal (T_c), resistência térmica oferecida pela roupa (r_1), vestimenta (r_a) e a diferença de temperatura entre a roupa e a pele em condições de temperatura ambiente (T_a). O fluxo de calor é dependente destas variáveis e pode ser calculado pela seguinte fórmula :

$$H = \rho C_p (T_c - T_a) / (r_1 + r_c + r_a)$$

O valor de r_1 depende da taxa metabólica (M^*) conforme a fórmula :

$$r_1 = -0,1 (M^*) + 65$$

A conexão destas duas fórmulas foi derivada da aplicação da Lei de Ohm através de alguns dados obtidos for Fanger (1970) em humanos em condições termicamente confortáveis.

3.) PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

MATERIAL UTILIZADO :

Foi utilizado um cilindro vertical para calcular a carga térmica incidente, e no seu interior um sensor de temperatura AD590. Utilizou-se dois tamanhos de cilindro, um de 13,1 x 110 mm e outro de 10,1 x 106,44 mm. A intenção é realizar uma comparação de medida de carga térmica em cada cilindro.

Para a determinação da velocidade do vento, utilizou-se um anemômetro de caneca. Todos estes sensores foram conectados a um Datalogger, para armazenamento dos dados.

A seguir um resumo de cada um destes instrumentos de medição:

Cilindro Vertical :

É utilizado para medida de radiação solar, possui 106,44 mm de comprimento por 10,1 mm de diâmetro o cilindro menor, e 13,1 mm de diâmetro por 110 mm de comprimento o cilindro maior. Possui um furo interno de 6 mm de diâmetro. O material do cilindro é alumínio e foi pintado com uma cor padrão designada por Mussell, que determinou a cor utilizada como sendo a que melhor representa a cor da pele do ser humano. Em seu interior foi instalado um sensor AD590 para leitura da temperatura. Sua forma geométrica é uma tentativa de aproximação com a forma cilíndrica do corpo humano.

AD590 :

O AD590 é um circuito integrado usado em medidas de temperatura que produz, no terminal de saída uma corrente proporcional a temperatura absoluta. Esta corrente varia de $1\mu\text{A} / ^\circ\text{K}$ com uma tensão de alimentação de 4V à 30 V, para medir temperaturas que variam entre - 55°C à 150°C.

Possui como características principais:

- corrente de saída linear : $1\text{mA}/^\circ\text{K}$
- ampla faixa de temperatura: -55°C à 150°C
- dois terminais, alimentação e corrente/temperatura;
- isolado do terra e baixo custo.

PT100:

Sensor de resistência de platina apresentando 100Ω à 0°C e dimensão de 2 x 2 mm

MÉTODOS

Foram realizados dois tipos de teste para a calibração dos cilindros, sendo o primeiro feito em laboratório e o segundo no campo.

Em laboratório foram simuladas duas condições dos cilindros, sendo o primeiro feito em laboratório e o segundo no campo.

$$\text{Rabs} = 452.44 + 1428 / (37.2730)$$

$$\text{Rabs} = 50.450 \text{ W/ m}^2$$

Cálculos de carga térmica para o cilindro menor no sol

Diâmetro do cilindro menor → D = 10,1 mm ou 0,0101m
 Média da velocidade do vento obtida através do gráfico → V = 0,7505 m/s
 Média da temperatura do cilindro no sol → T_{crt} = 27,741°C
 Média da temperatura ambiental na sombra → T_a = 25,07°C

Valores tabelados das propriedades físicas do ar :

Para T = 300K

temos que : $K = 0,22160 \times 10^{-4} \text{ (m}^2 \text{/s)}$
 $\nu = 15,68 \times 10^{-6} \text{ (m}^2 \text{/s)}$

Da convecção livre, através da fórmula de Nusselt $Nu = 0,66 Re^{1/2} Pr^{0,33}$, estabelece-se que:

$$A = 0,66$$

$$n = 1/2$$

$$\text{Rabs} = \sigma (T_{crt} + 273,15)^4 + (I_{cp}) (T_{crt} - T_{air}) / r_m$$

Cálculo de r_m :

$$r_m = D / (A Re^n Pr^{0,33} K)$$

$$r_m = 0,0101 / (0,66 \times 0,71^{0,33} \times 0,22160 \times 10^{-4} \times 483.099^2)$$

$$\text{r}_m = 35,178$$

Cálculo de Re:

$$Re = V D / \nu$$

$$Re = (0,75 \times 0,0101) / 15,68 \times 10^{-6}$$

$$\text{Re} = 483,0994$$

$$\text{Rabs} = 5,67 \times 10^{-8} (27,41 + 273,15)^4 + (1200) \times (27,41 - 25,07) / (35,178)$$

$$\text{Rabs} = (462,71 + 2.808 / 35.178)$$

$$\text{Rabs} = 72.508 \text{ W / m}^2$$

Cálculo de carga térmica para o cilindro menor na sombra

Média da velocidade do vento obtida através do gráfico → V = 0,8665 m/s
 Média da temperatura do cilindro na sombra → T_{crt} = 25.71°C
 Média da temperatura ambiental na sombra → T_a = 24,54°C

$$Re = VD / \nu$$

$$Re = (0.8665 \times 0.0101) / 15.68 \times 10^{-6}$$

$$\text{Re} = 558.1409$$

$$r_m = D / (A Re^n Pr^{0,33} K)$$

$$r_m = 0.0101 / (0.66 \times 558.1409^{1/2} \times 0.71^{0,33} \times 0.22160 \times 10^{-4})$$

$$\text{r}_m = 32.728$$

$$R_{abs} = 5,67 \times 10^{-8} (25.71 + 273.15)^4 + (1200) \times (25.71 - 24.54) / (32.728)$$

$$R_{abs} = 452.33 + 1404 / (32.728)$$

$$R_{abs} = 56.719 \text{ W/m}^2$$

Organizou-se os valores medidos e calculados nas seguintes tabelas abaixo :

Valores Medidos

SOMBRA				SOL			
TC MAIOR	TCMENOR	V.VENTO	TEMP. AR	TC MAIOR	TCMENOR	V.VENTO	TEMP. AR
25.73	25.71	0.8665	24.54	27.61	27.74	0.7505	25.05

Valores Calculados :

Cilindro maior :

	Pleno sol	Sombra
Re	626.59	723.92
r_m (°C / W)	40.06	37.27
R_{abs} (W / m ²)	87.38	50.45

Cilindro menor :

	Pleno sol	Sombra
Re	483.09	558.14
r_m (°C / W)	35.18	37.736
R_{abs} (W / m ²)	72.51	56.72

Calculou-se o tempo de resposta do sistema, pela análise do gráfico.

Tempo de resposta do decaimento do gráfico, ou seja, no período de sombreamento:

Diferença das temperaturas : $27.2 - 25.5 = 1.07$

Toma-se o maior valor e subtrai desta diferença : $27.2 - 1.07 = 26.13$

Observando no gráfico temos o **tempo de resposta de 3 min**

O cálculo de carga térmica ou energia armazenada pelo cilindro, também pode ser realizada através dos valores de onda curta e de onda longa incidentes.

$$R_{abs} = K_{abs} + L_{abs}$$

onde : K_{abs} = radiação de onda curta

$$L_{\text{abs}} = \text{Radiação de onda longa} \rightarrow L_{\text{abs}} = e [(\sigma 9.35 \times 10^{-6}) T_a^6]$$

Kabs = valor medido pelo Instituto Agronômico de Campinas no dia da realização do experimento.

5.) CONCLUSÃO :

Para o estudo do índice de conforto térmico são necessários algumas variáveis como: condições ambientais, fatores humanos (metabolismo, idade, sexo), como também a temperatura do ar, umidade do ar, movimento do ar, calor radiante entre outros. O desenvolvimento do índice de conforto térmico é difícil, senão impossível, quando baseado apenas em dados meteorológicos, e dentro esses dados o fator mais importante é a radiação

Com a finalidade de desenvolver um estudo voltado para o conforto térmico, foram desenvolvidos sensores de temperatura, com a forma geométrica que melhor representa o homem, que é a de um cilindro vertical. O cilindro foi desenvolvido em dois tamanhos, justamente para verificar a influência térmica que cada um recebe.

Em testes realizados em laboratório e em campo, pode-se concluir que os cilindros possuem um tempo de resposta em média de 3 min, independente do tamanho. Isto se deve ao fato do tipo de sensor utilizado internamente. O erro padrão encontrado para a medida das temperaturas fica em torno de 0,27°C. Este valor encontrado é considerado bom, sendo que o valor considerado ideal encontra-se na faixa de 0,1 à 0,2 °C.

Com relação à carga térmica calculada, pode-se verificar que o cilindro menor responde mais rápido à variação da temperatura em relação ao maior. Esta diferença é diretamente proporcional a massa do cilindro, ou seja, quanto menor a massa, mais rápido responde.

O sistema apresentado limita-se apenas as medidas de temperaturas e de vento, como também o cálculo da carga térmica. Para um sistema mais completo, pode-se conectar ao sistema radiômetros, fluxímetros, sensor de umidade ou qualquer outro tipo de sensor.

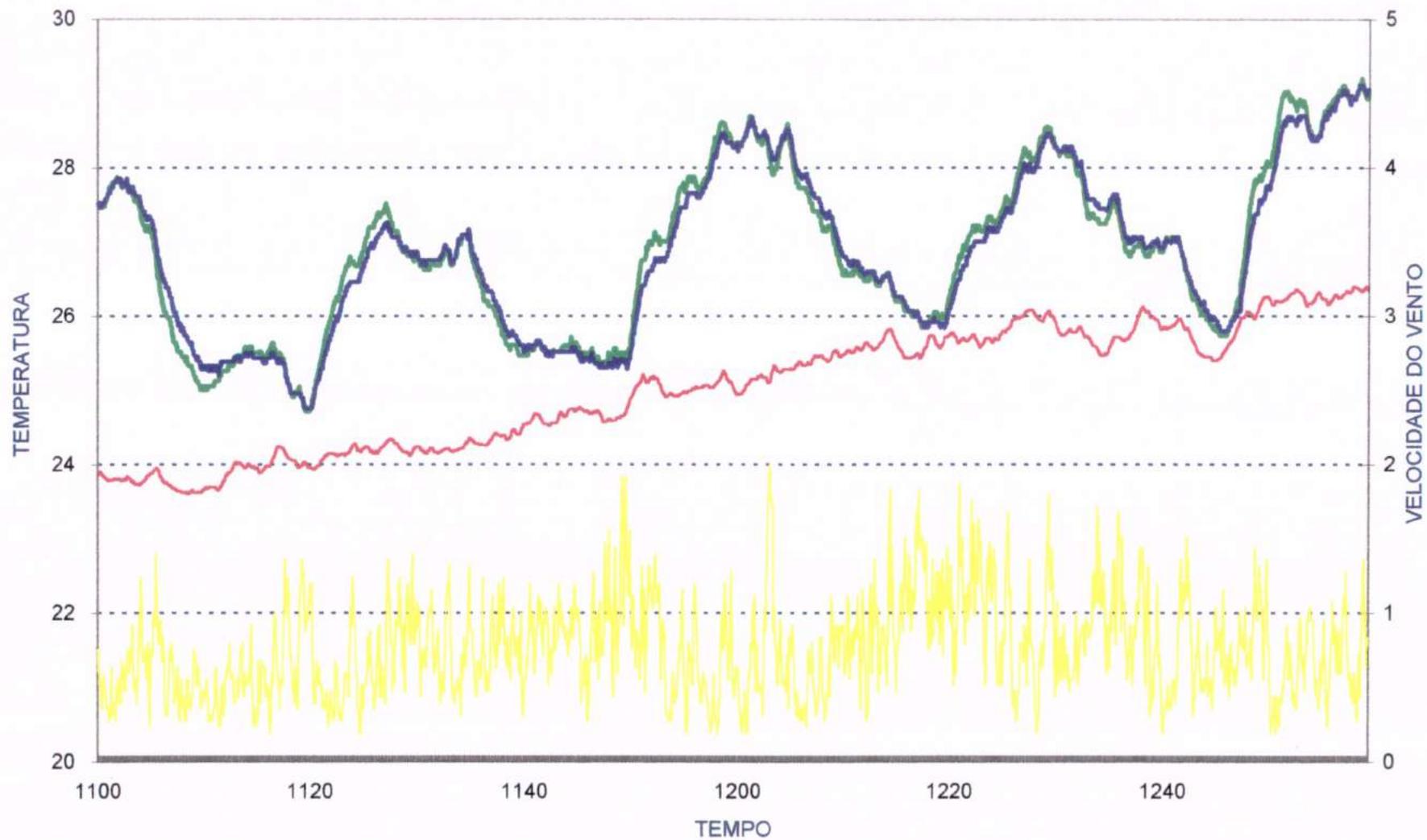
Conclui-se por fim, que o sistema encontra-se apto para testes em escolas da zona rural, quanto da zona urbana, oferecendo portanto valores para o estudo do índice de conforto térmico. A partir destes dados verifica-se se o ambiente necessita ou não de modificações para se enquadrar nas condições de conforto térmico.

6.) BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- Kryszewski, S. A, and Brown, R.D, 1990, Radiation Absorbed by a vertical cylinder in complex outdoor environments under clear sky conditions, Int J. Biometeorology, vol 34, pp: 69 - 75
- Rodrigues, C, Mateos, J and Garmendia, I, 1985, Biometeorological Comfort Index., Int. J. Biometer., vol 29, nº 2, pp : 121 - 129
- Johnson, G.T and Watson, I.D, 1987, Modelling Person Shapes for thermal Comfort Studies, Int. J. Biometer., vol 31, nº 1, pp : 33-43
- Watson, I.D, and Johnson, G.T.,1988, Estimating person view factors from fish-eye lens photographs, Int. J. Biometer, vol 32, pp: 123-128
- Brown, R.D. and Gillespie, T.J., 1986, Estimating Outdoor Thermal Comfort Using a Cylindrical Radiation Thermometer and an Energy Budget Model, Int. J. Biometer., vol 30, nº 1, pp : 43-52
- Steadman, R.G, 1979, The assessment of sultriness. Part II : Effects of wind, Extra Radiation and Barometric Pressure on Apparent Temperature, Journal of Applied Meteorology, july 1979, vol 18, pp : 861 - 883
- Johnson, G.T and Watson, I.D, 1985, modelling longwave radiation exchange between complex shapes, Int. J. Meteor., pp : 363-377
- Kryszewski, S.A, and Brown, R.D, 1990, radiation absorbed by a vertical cylinder in complex outdoor environments under clear sky conditions. Int. J. Biometer, vol 34, pp: 69 - 75
- Akutsu, M. , Sato, M.N e Pedroso, N.G., 1987, Desempenho térmico de edificações habitacionais e escolares - Manual de procedimentos para avaliação, Instituto de Pesquisas Tecnológicas de Estado de São Paulo.
- Ozisik, M.N.,1985, Transferência de calor, Radiação entre superfícies num Meio Inerte, Editora Guanabara, vol 1, São Paulo
- Brutsaert, W.H., 1934, Evaporation Into the Atmosphere, Energy Fluxes at the Earth's Surface, D. Reidel Publishing Company , Holland/Boston U.S.A
- Chang, J.H., 1968, Climate and Agriculture, Radiation Balance, Aldine Publishing Company , Chicago.
- Mather, J.R., 1974, CLIMATOLOGY - Fundamentals and Applications, McGraw-Hill Book Company.

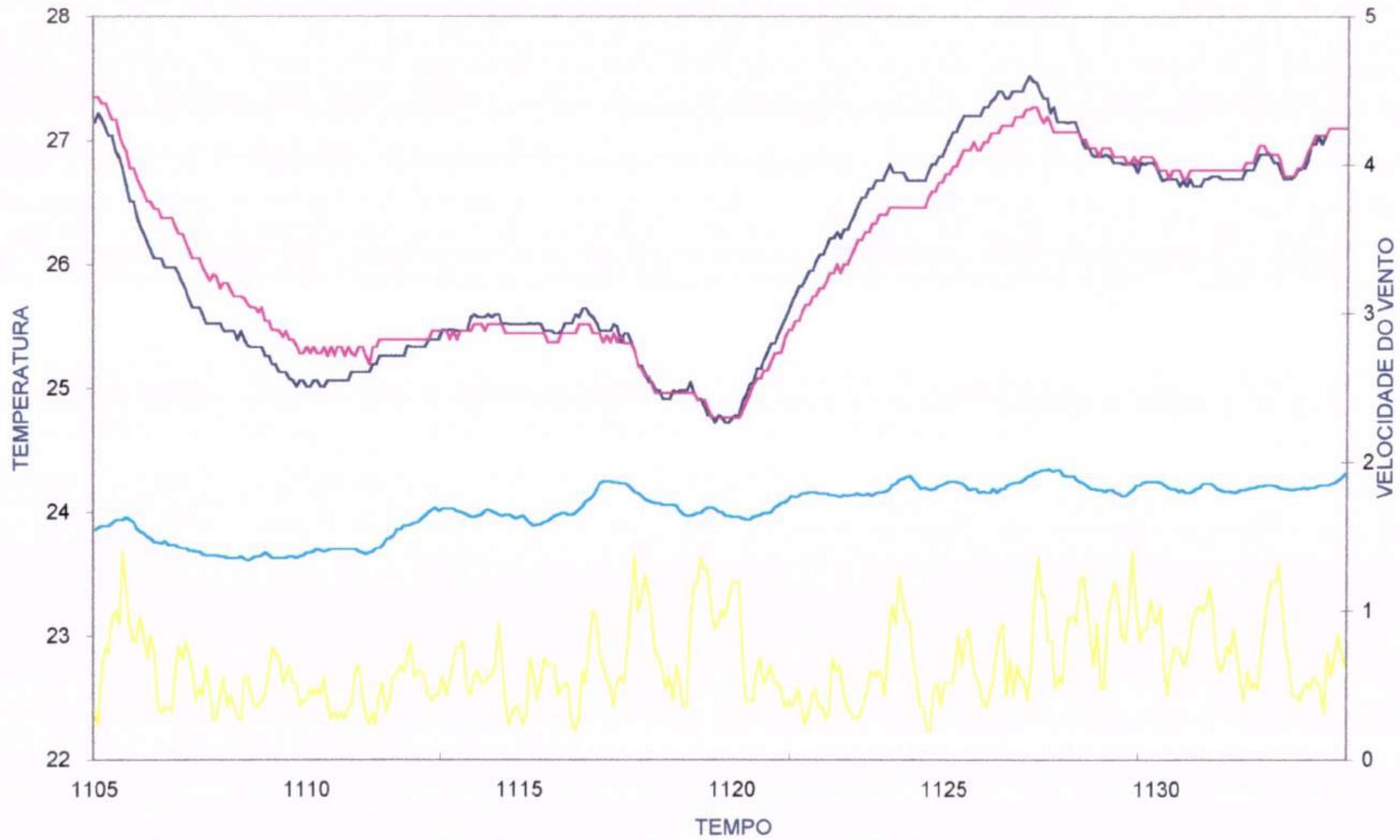
ADENDO

SOMBREAMENTO TOTAL



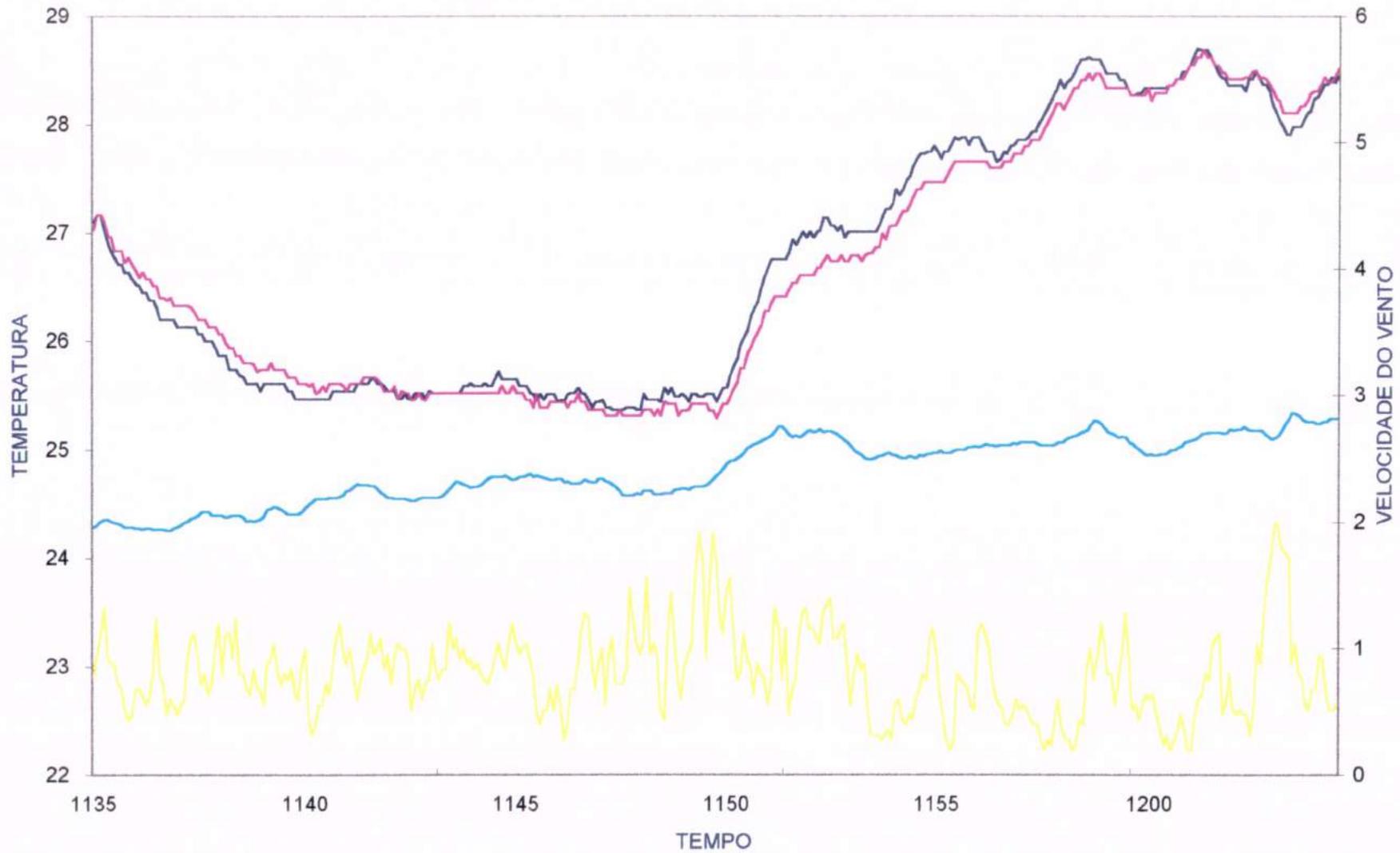
— TCME — TCMA — TERMSOM — VVENTO

SOMBREAMENTO 1



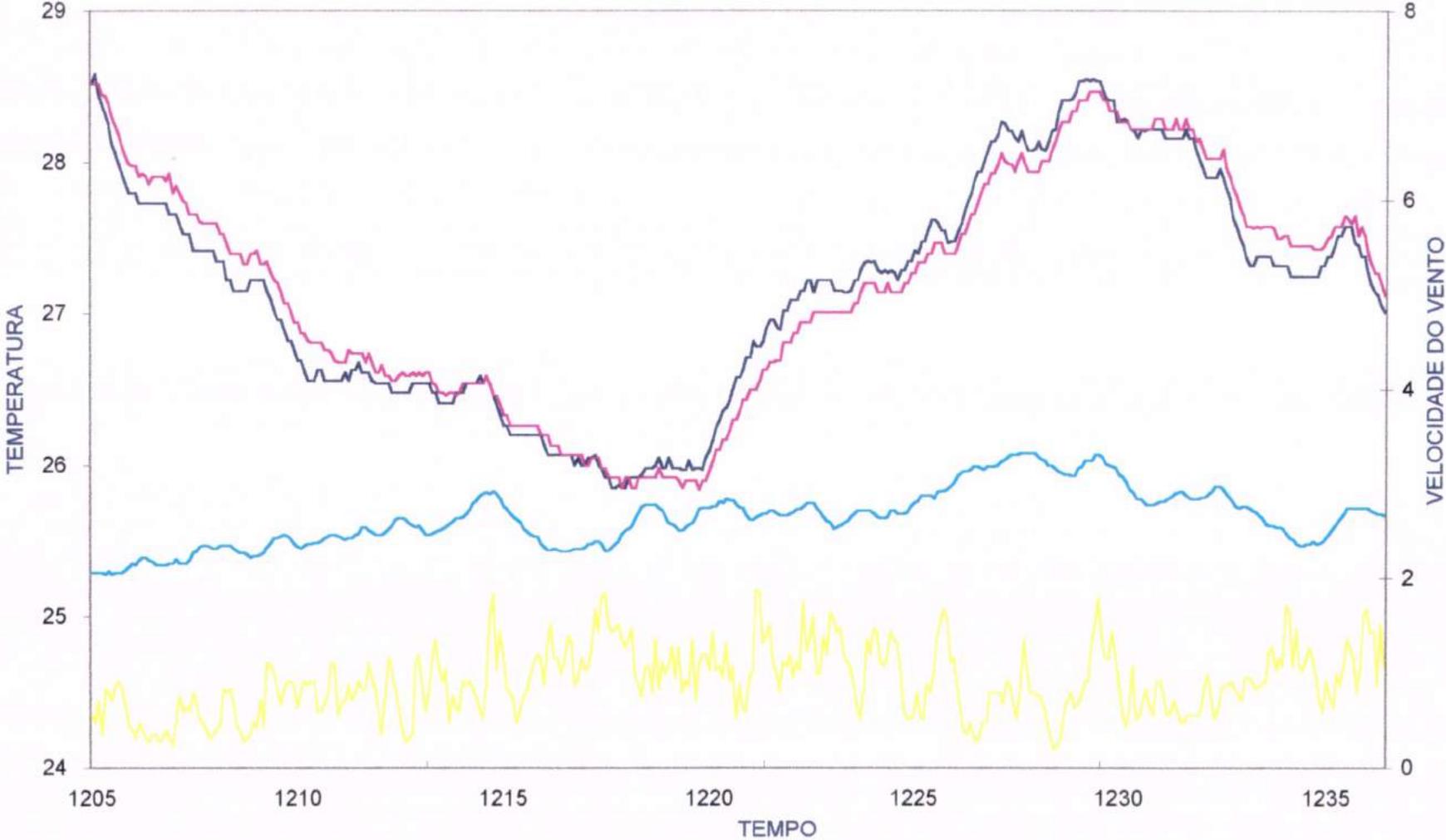
— TEMP. CILINDRO MENOR — TEMP. CILINDRO MAIOR — TEMP. AR — VEL. VENTO

SOMBREAMENTO 2



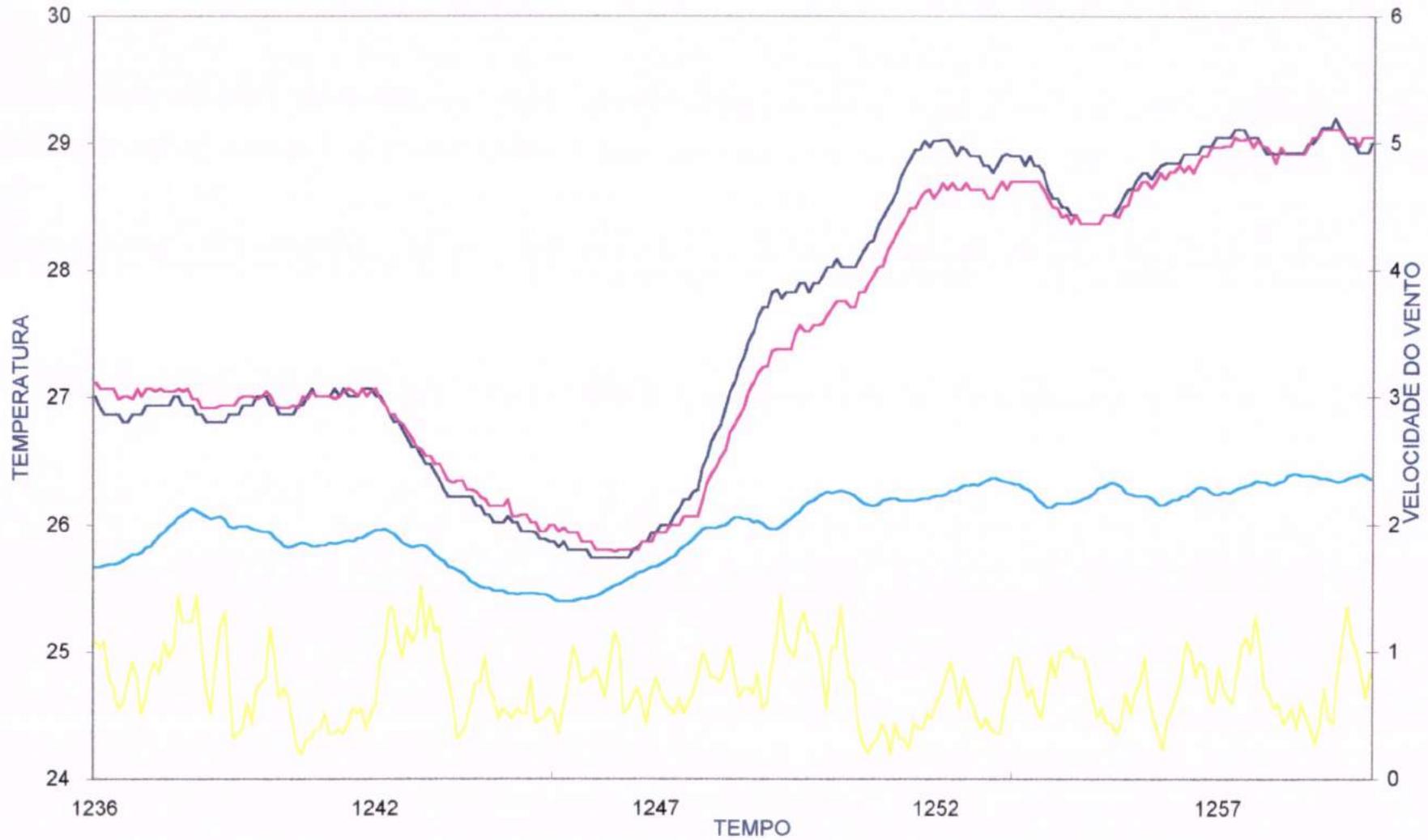
— TEMP. CILINDRO MENOR — TEMP. CILINDRO MAIOR — TEMP. AR — VEL. VENTO

SOMBREAMENTO 3



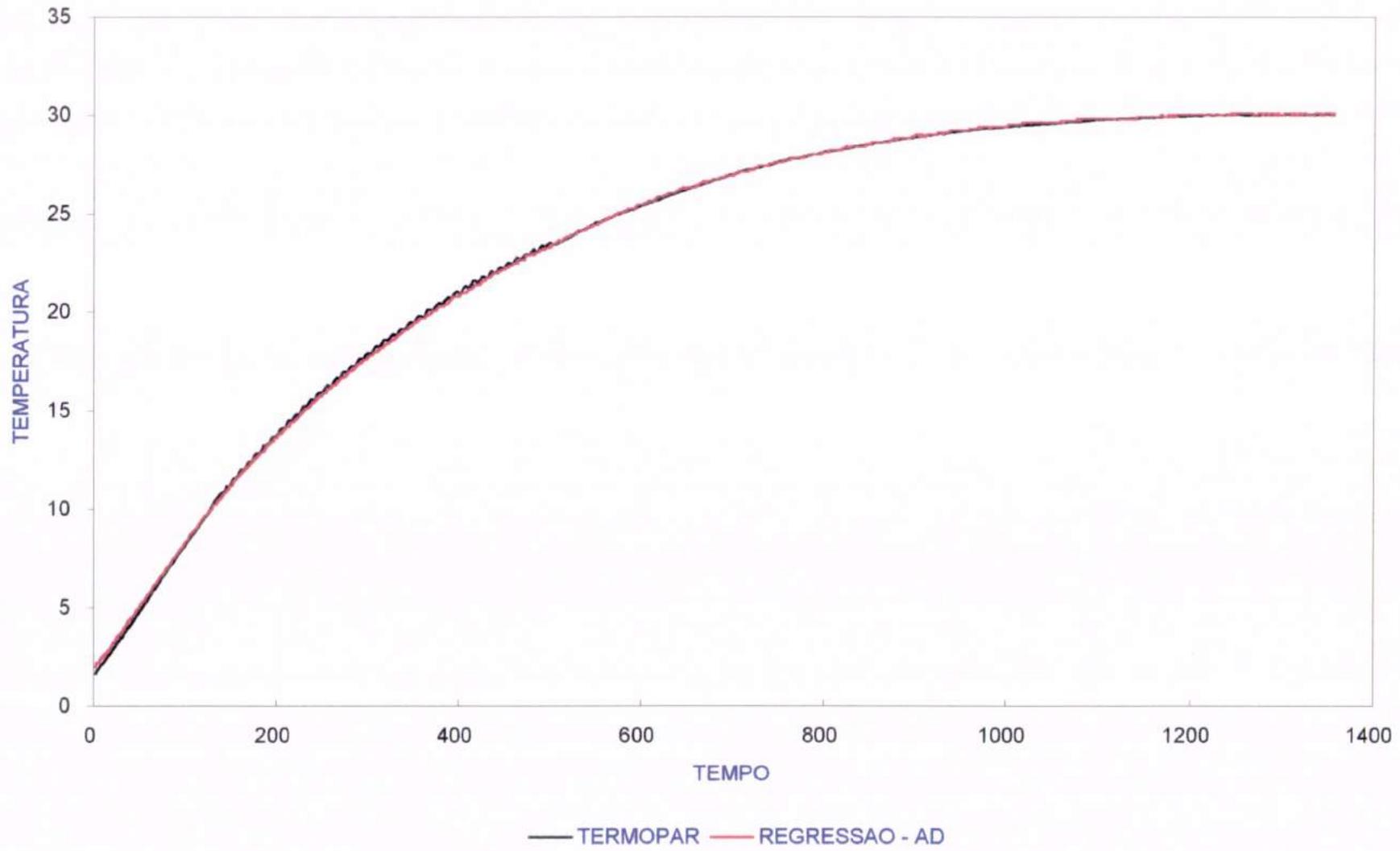
— TEMP. CILINDRO MENOR — TEMP. CILINDRO MAIOR — TEMP. AR — VEL. VENTO

SOMBREAMENTO 4

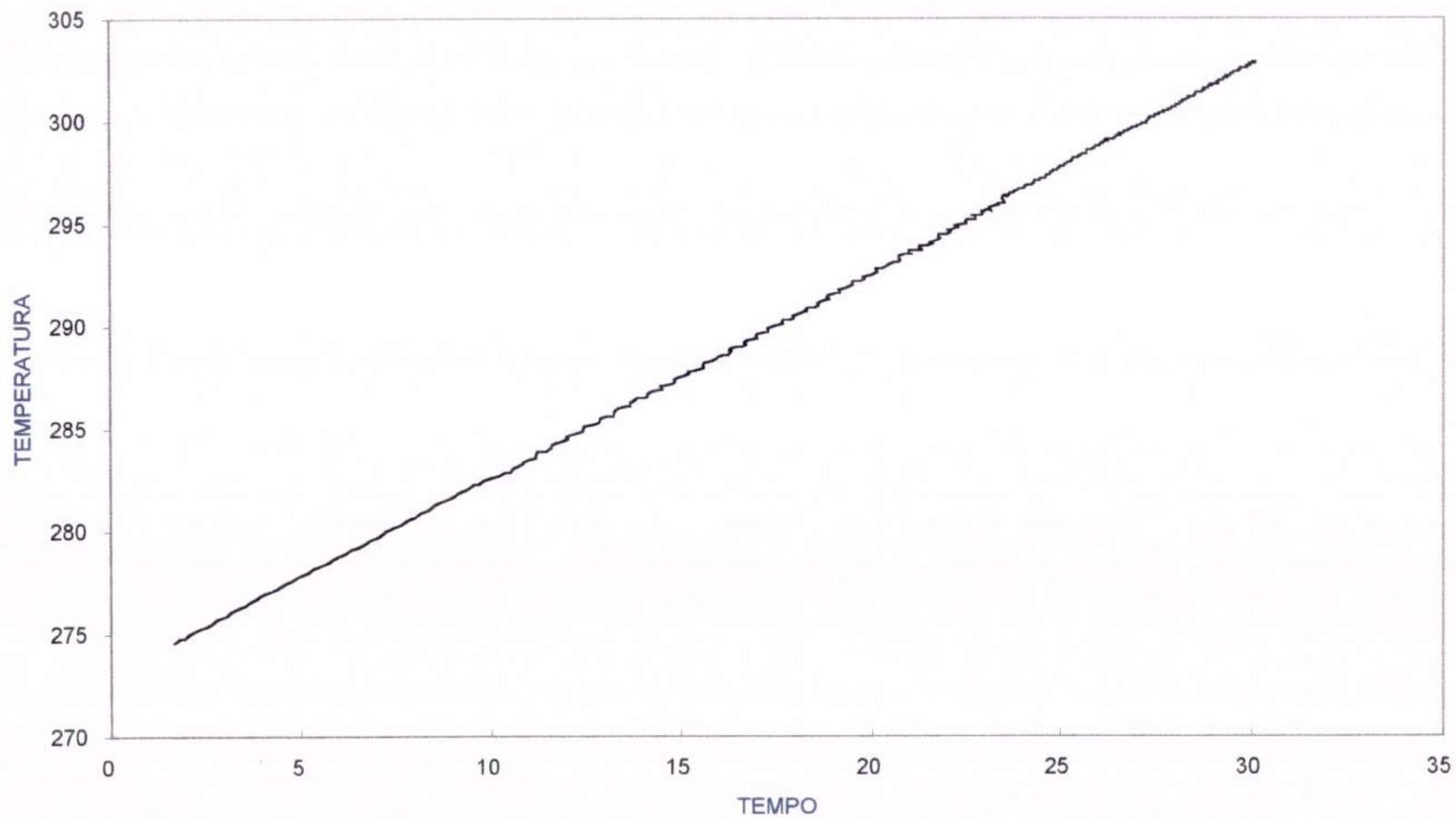


— TEMP. CILINDRO MENOR — TEMP. CILINDRO MAIOR — TEMP. AR — VEL. VENTO

TEMP. AGUA FRIA
TERMOPAR X REGRESSAO (AD590)

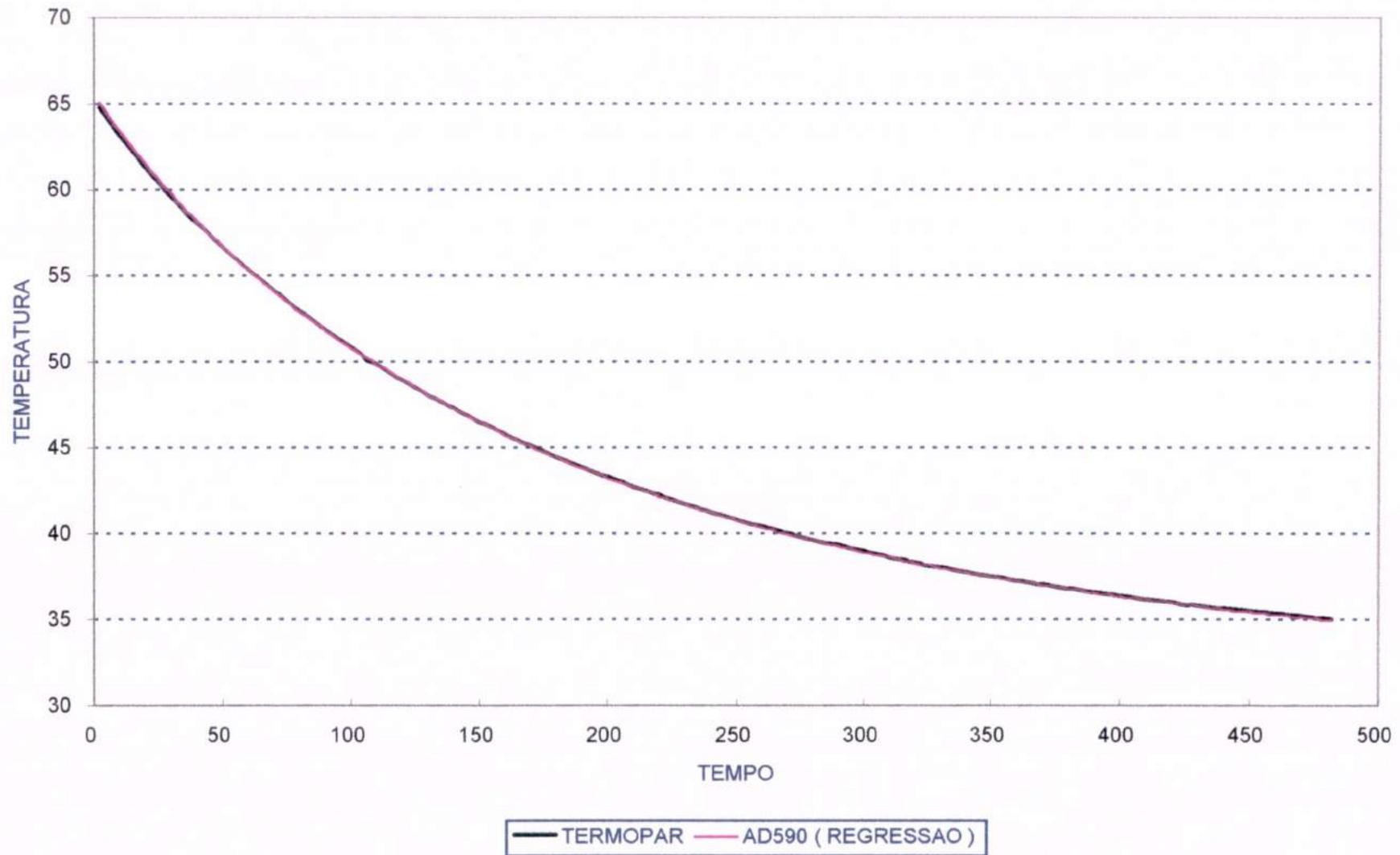


TEMP. AGUA FRIA
TERMOPAR X AD590 (SEM REGRESSAO)

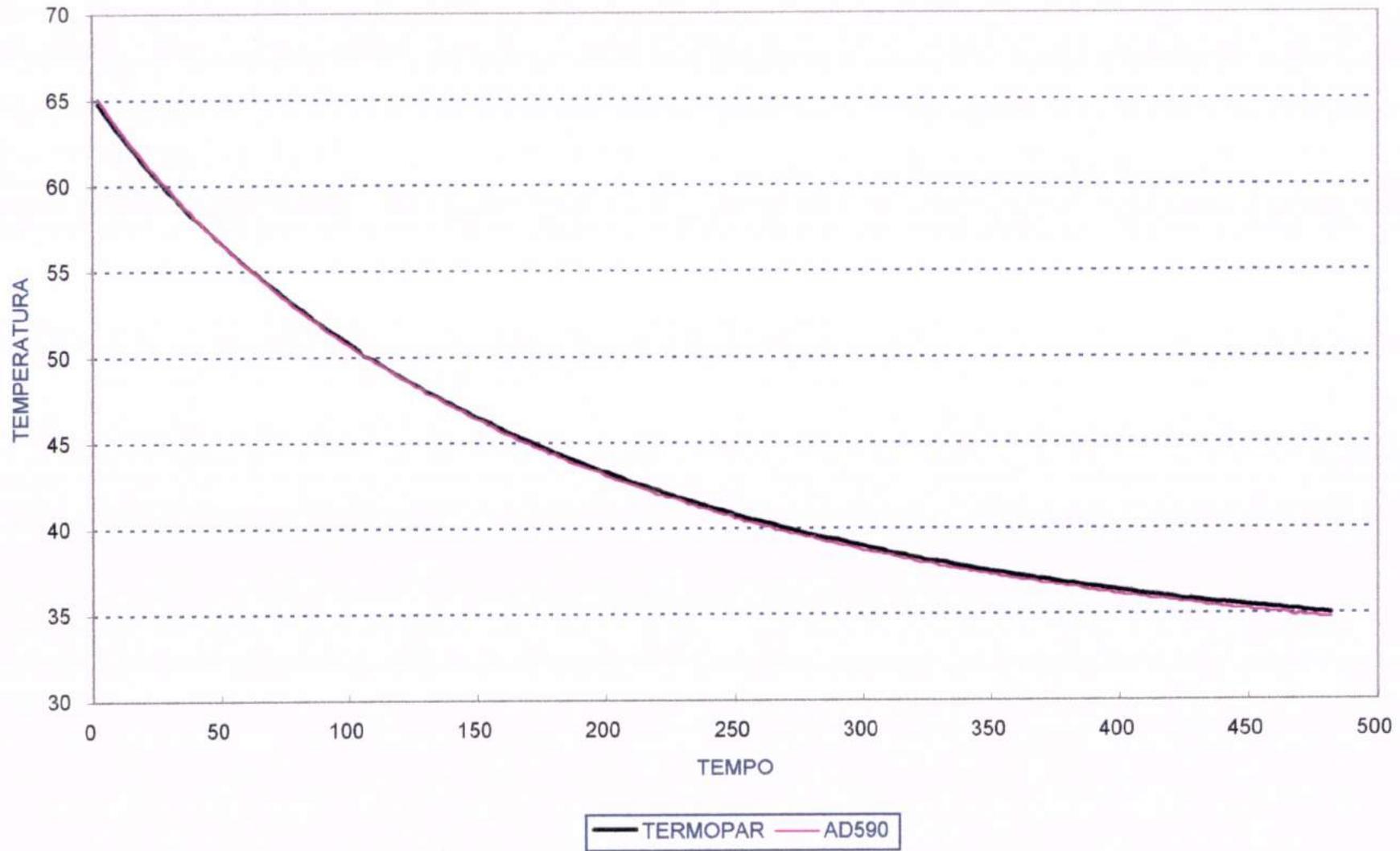


— TERMOPAR X AD590

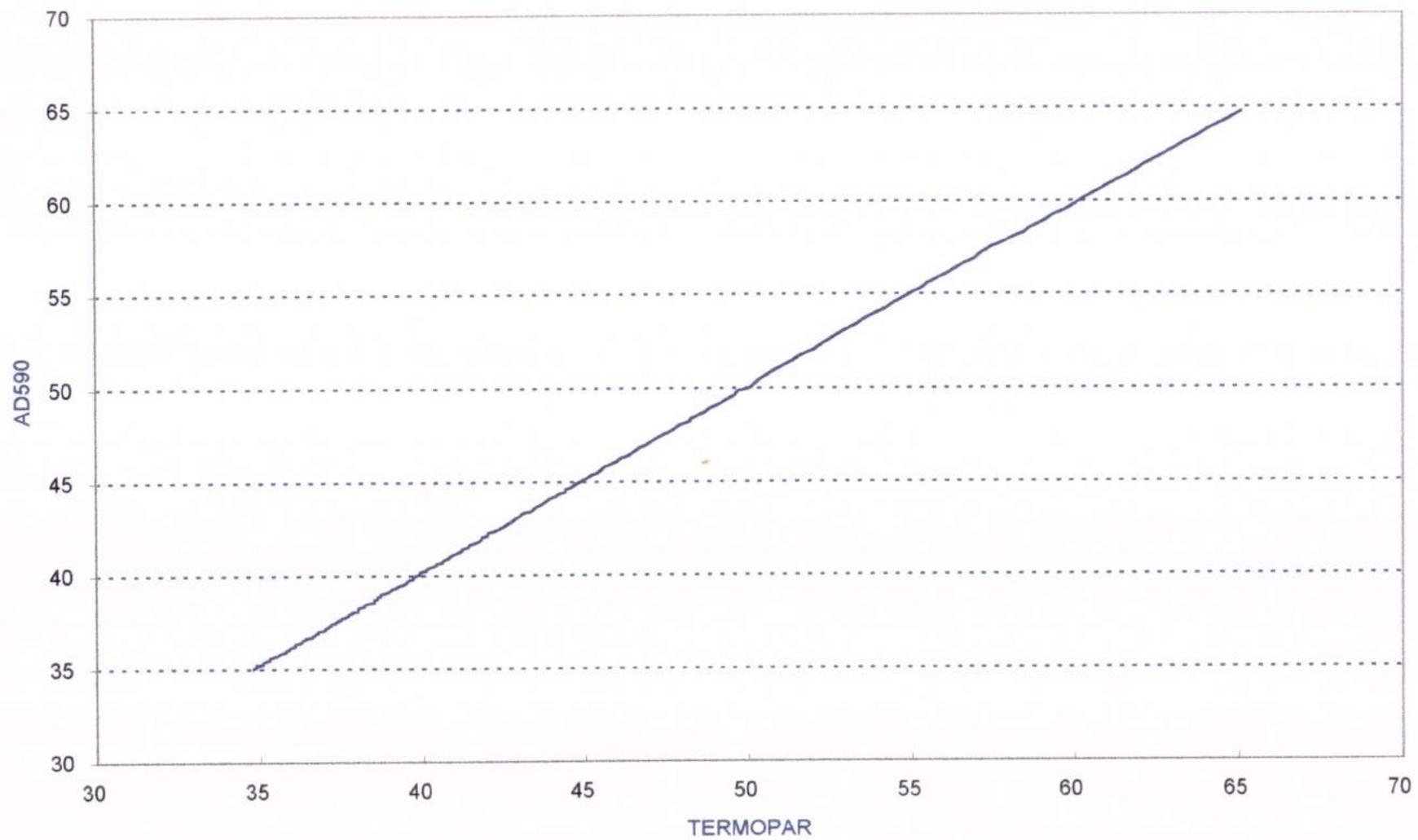
TEMP. AGUA FRIA E TEMP. AGUA QUENTE
AD590 (REGRESSAO) x TERMOPAR x TEMPO



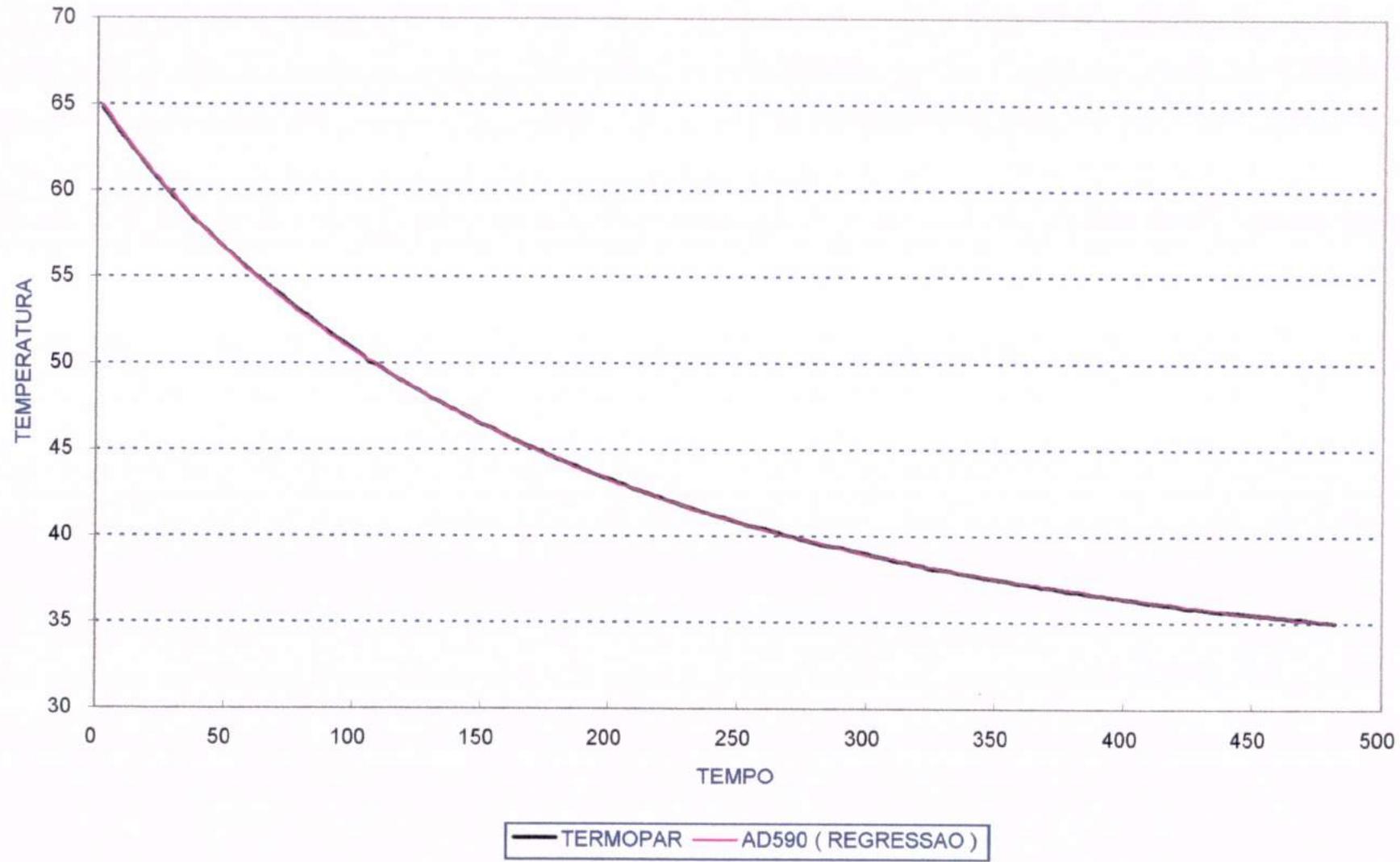
TEMP. AGUA FRIA X TEMP. AGUA QUENTE
AD590 X TERMOPAR X TEMPO



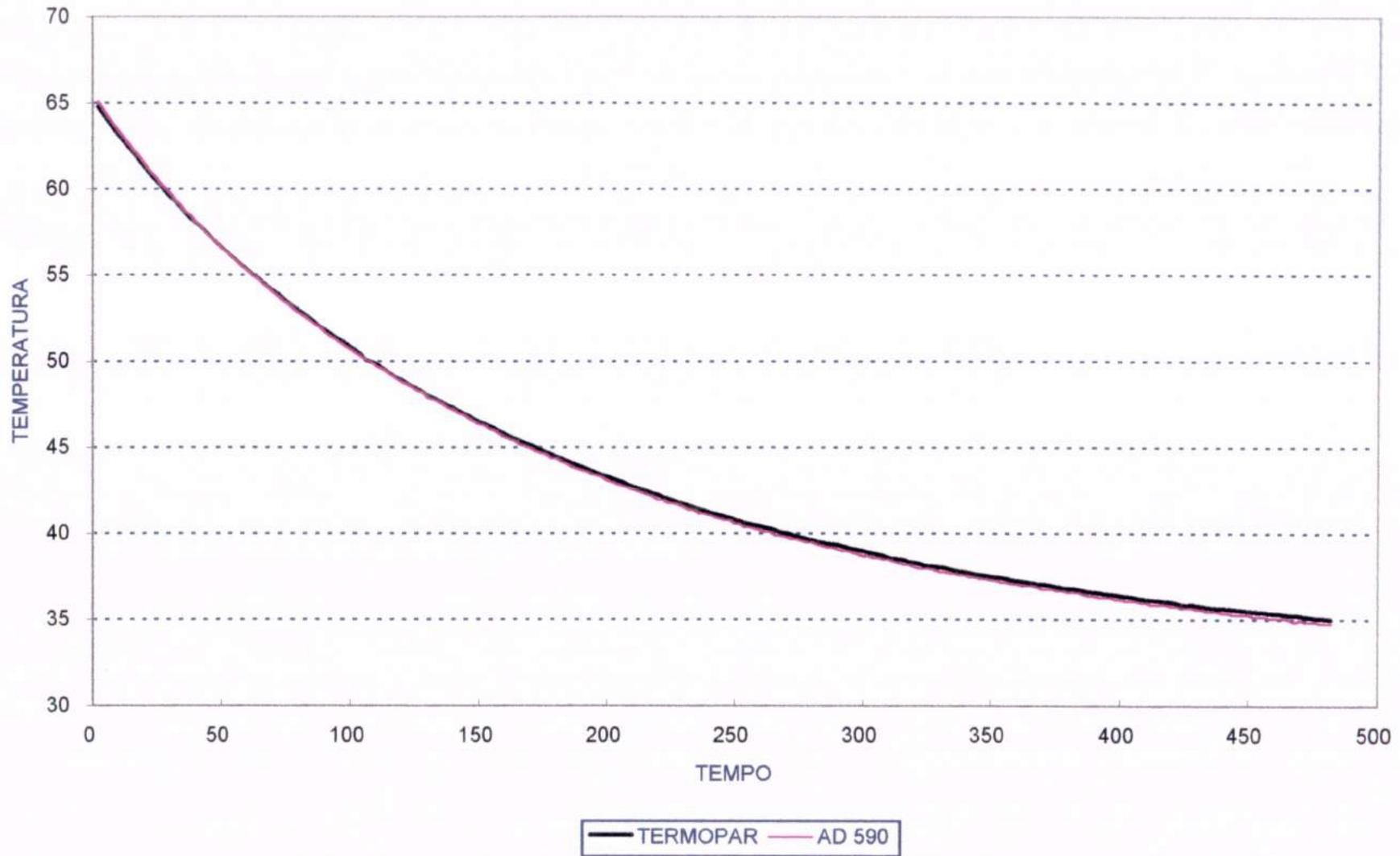
TEMP. AGUA FRIA X TEMP. AGUA QUENTE
TERMOPAR X AD590



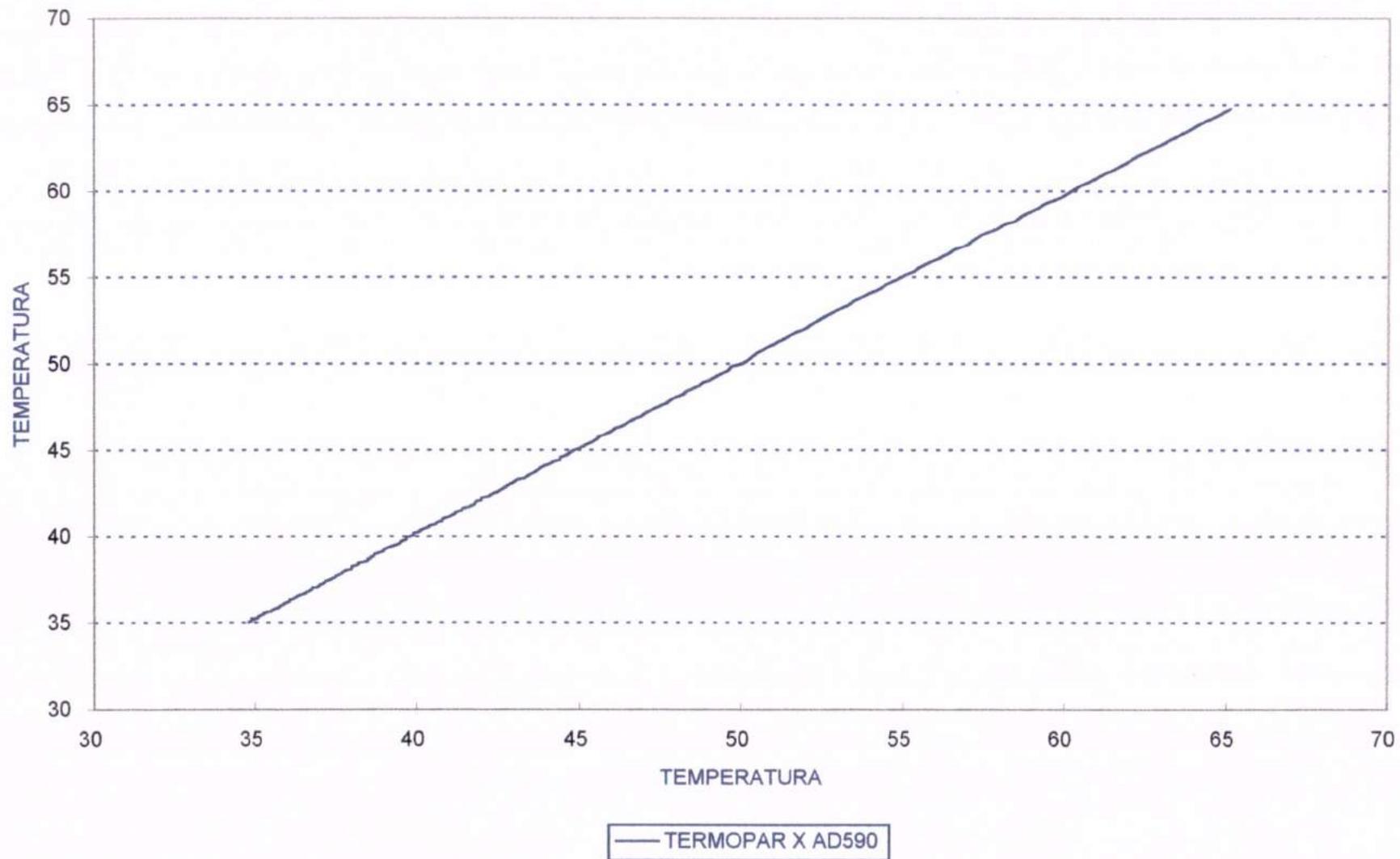
TEMP. AGUA QUENTE
TERMOPAR X AD590(REGRESSAO) X TEMPO



TEMP. AGUA QUENTE
AD590 X TERMOPAR X TEMPO



TEMP. AGUA QUENTE
TERM. X AD590



Em laboratório foram simuladas duas condições de temperatura : frio (6° C - 28°C) e quente (65°C - 29°C). Na simulação de temperatura fria foi adicionado em um becker, água com gelo com temperatura de aproximadamente 6°C. Este becker foi colocado sobre um agitador de misturas, atingindo a temperatura de estabilização em torno de 28°C.

Para a simulação da temperatura quente, foi realizado um procedimento análogo, com temperatura inicial da água em 65°C e temperatura de estabilização de 29°C.

O segundo teste foi o feito em campo. Utilizou-se dois sistemas: Um formado de dois cilindros e um termopar instalado em abrigo, e outro formado de dois cilindros e um anemômetro instalado a pleno sol. O sistema exposto ao sol foi sombreado e iluminado em intervalos de 10 minutos.

4.) RESULTADOS

Através dos testes realizados em laboratório, foram encontrados valores de temperatura dos cilindros e do termopar para as situações de água fria e de água quente.

Estes dados foram tabelados e analisados. Realizou-se a regressão matemática entre o cilindro e o termopar, onde foram encontrados valores de ajuste, para offset e multiplicador. A resposta encontrada no gráfico foi em função de uma reta, cujos coeficientes de ajuste se adequam a seguinte equação:

$$Y = ax + b ; \text{ onde } a = \text{fator de multiplicação e } b = \text{offset} \quad (\text{equação da reta})$$

O valor encontrado de a foi de $\rightarrow a = 0,992782$

O valor encontrado de b foi de $\rightarrow b = -270,5833$

A tabela e os gráficos deste teste encontram-se em anexo.

Com relação aos testes realizados em campo, foram encontrados valores de temperatura dos cilindros, do PT100 e do anemômetro, para as situações de sol e de sombreamento. Os cilindros já se encontravam ajustados com os valores de a e b, fazendo portanto uma comparação do valor encontrado em laboratório, com o encontrado em campo, com a finalidade de que ambos fossem semelhantes.

Para o sistema que estava na sombra, foram medidos somente valores de temperatura do ambiente. Os dados dos dois sistemas foram incorporados em uma única tabela, onde foram analisados em quatro gráficos, com períodos de 30 minutos cada intervalo de observação. A medição dos dados foi realizada no dia 15 de maio de 1996 no período das 11:00 às 13:00 h.

Estes gráficos e tabelas encontram-se também em anexo

Com os valores medidos encontrados, foi possível então calcular a carga térmica de cada cilindro e o tempo de resposta, conforme fórmulas descritas na bibliografia consultada.

Cálculos de carga térmica para o cilindro maior no sol

Diâmetro do cilindro maior $\rightarrow D = 13,1 \text{ mm}$ ou $0,0131 \text{ m}$

Média da velocidade do vento obtida através do gráfico $\rightarrow V = 0,7505 \text{ m/s}$

Média da temperatura do cilindro no sol $\rightarrow T_{\text{crt}} = 27,61^\circ\text{C}$

Média da temperatura ambiental na sombra $\rightarrow T_a = 25,07^\circ\text{C}$

Valores tabelados das propriedades físicas do ar :

Para $T = 300\text{K}$

temos que : $K = 0,22160 \times 10^{-4} \text{ (m}^2/\text{s)}$

$$v = 15,68 \times 10^{-6} \text{ (m}^2/\text{s)}$$

Da convecção livre, através da fórmula de Nusselt $Nu = 0,66 Re^{1/2} Pr^{0,33}$, estabelece-se que:

$$A = 0,66$$

$$n = 1/2$$

$$R_{\text{abs}} = \sigma (T_{\text{crt}} + 273,15)^4 + (I_{\text{cp}}) (T_{\text{crt}} - T_{\text{air}}) / r_{\text{m}}$$

Cálculo de r_{m} :

$$r_{\text{m}} = D / (A Re^n Pr^{0,33} K)$$

$$r_{\text{m}} = 0,0131 / (0,66 \times 0,71^{0,33} \times 0,22160 \times 10^{-4} \times 626,59^{1/2})$$

$$\mathbf{r_{m} = 40,063}$$

Cálculo de Re :

$$Re = VD / v$$

$$Re = (0,75 \times 0,0131) / 15,68 \times 10^{-6}$$

$$\mathbf{Re = 626,5944}$$

$$R_{\text{abs}} = 5,67 \times 10^{-8} (27,6 + 273,15)^4 + (1200) \times (27,6 - 25,07) / (40,063)$$

$$R_{\text{abs}} = (464,69 + 3,036 / 40,063)$$

$$\mathbf{R_{abs} = 87.379 \text{ W / m}^2}$$

Cálculo de carga térmica para o cilindro maior na sombra

Média da velocidade do vento obtida através do gráfico $\rightarrow V = 0,8665 \text{ m/s}$

Média da temperatura do cilindro na sombra $\rightarrow T_{\text{crt}} = 25,73^\circ\text{C}$

Média da temperatura ambiental na sombra $\rightarrow T_a = 24,54^\circ\text{C}$

$$Re = VD / v$$

$$Re = (0,8665 \times 0,0131) / 15,68 \times 10^{-6}$$

$$\mathbf{Re = 723.9253}$$

$$r_{\text{m}} = D / (A Re^n Pr^{0,33} K)$$

$$r_{\text{m}} = 0,0131 / (0,66 \times 723,9253^{1/2} \times 0,71^{0,33} \times 0,22160 \times 10^{-4})$$

$$r_{\text{m}} = 0,0131 / 4,728 \times 10^{-3}$$

$$\mathbf{r_{m} = 37.2730}$$

$$R_{\text{abs}} = 5,67 \times 10^{-8} (25,73 + 273,15)^4 + (1200) \times (25,73 - 24,54) / (37,2730)$$