

**RAE-CEA-9611**

**RELATÓRIO DE ANÁLISE ESTATÍSTICA SOBRE O  
PROJETO: “ESTUDO DA TAXA METABÓLICA TOTAL  
DE MICROPOGONIAS FURNIERI (DESMAREST,1823)  
TELEOSTEI - PERCIFORME - SCIAENIDAE”.**

**CLÉLIA M.C. TOLOI**

**CHANG CHIANN**

**JEFFERSON FERREIRA**

São Paulo, junho de 1996

**CENTRO DE ESTATÍSTICA APLICADA - CEA**  
**RELATÓRIO DE ANÁLISE ESTATÍSTICA - NÚMERO 9611**  
**- CÓDIGO 96P11**

**TÍTULO:** Relatório de análise estatística sobre o projeto: “Estudo da taxa metabólica total de *Micropogonias furnieri* (Desmarest,1823) *Teleostei - Perciforme - Sciaenidae*”.

**PESQUISADOR:** Antônio Marcos de Alcantara Rodrigues

**ORIENTADOR:** Vicente Gomes

**COLABORADOR:** Phan Van Ngan

**INSTITUIÇÃO:** Instituto Oceanográfico - USP

**FINALIDADE:** Mestrado

**RESPONSÁVEIS PELA ANÁLISE:** Clélia M. C. Toloi, Chang Chiann e Jefferson Ferreira

**REFERÊNCIA DESTE TRABALHO:** Toloi, C.M.C., Chiann,C. e Ferreira, J. **Relatório de análise estatística sobre o projeto: “Estudo da taxa metabólica total de *Micropogonias furnieri* (Desmarest,1823) *Teleostei - Perciforme - Sciaenidae*”.** São Paulo, IME-USP, 1996. (RAE-CEA-9611).

**FICHA TÉCNICA:**

**REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

- Bussab,W.O. e Morettin,P.A. (1987). **Estatística Básica.** 4 ed. São Paulo:Atual.321p.

- Chiann,C. (1993). **Análise de Variância em Séries Temporais**. São Paulo. 137p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Matemática e Estatística - USP.
- Fisher,R.A. (1929). **Tests of significance in harmonic analysis**. Proceedings of the Royal Society of London, Series A, 130:54-59.
- **ITSM - An Interative Time Series Modelling Package for the PC** (1991), 104p.
- Morettin,P.A. e Toloi,C.M.C. (1987). **Previsão em Séries Temporais**. São Paulo: Atual.436p.
- Rocha,J.G.C. (1983). **Testes para Componentes Periódicas em Séries Temporais**. São Paulo.114p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Matemática - USP.
- Shimshoni,M. (1971). **On Fisher's test of significance in harmonic analysis**. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 23:373-377.

## **PROGRAMAS COMPUTACIONAIS UTILIZADOS**

- Excel v 5.0
- ITSM - Interative Time Series Modelling v 3.0
- Minitab for Windows v 10.2
- Quattro-Pro v 6.0
- QuickBasic v 4.0
- SPSS for Windows v 6.1.2
- Word for Windows v 6.0

## **TÉCNICAS ESTATÍSTICAS UTILIZADAS**

- Análise Descritiva Unidimensional (03:010)
- Análise Espectral (11:010)
- Análise de Variância em Séries Temporais (11:010)

## **ÁREA DE APLICAÇÃO**

- Oceanografia Biológica (14:990)

## Índice

<b>Resumo.....</b>	<b>5</b>
<b>1.Introdução.....</b>	<b>6</b>
<b>2.Descrição do estudo.....</b>	<b>6</b>
<b>3.Descrição das variáveis.....</b>	<b>7</b>
<b>4.Análise descritiva.....</b>	<b>8</b>
<b>5.Análise inferencial.....</b>	<b>16</b>
<b>Apêndice A - Séries do Consumo Específico.....</b>	<b>22</b>
<b>Apêndice B - Funções de autocorrelação das séries.....</b>	<b>26</b>
<b>Apêndice C - Periodogramas das séries.....</b>	<b>30</b>
<b>Apêndice D - Definições.....</b>	<b>34</b>
<b>Apêndice E - Programas.....</b>	<b>42</b>

## Resumo

O experimento foi realizado com corvinas coletadas em Ubatuba. A corvina tem grande importância ecológica e comercial, sendo necessário este estudo para se conhecer suas taxas metabólicas e assim fazer um gerenciamento adequado desta espécie.

Foi medido o consumo (específico e médio) de oxigênio de cada peixes coletado a determinada temperatura (19°C, 23.5°C ou 28°C).

Os objetivos do estudo são:

- Verificar as diferenças de consumo de oxigênio nas três faixas de temperatura.
- Verificar a existência de um ritmo circadiano, ou seja, se o consumo de oxigênio dos peixes tem um comportamento diário.

Através da análise, concluimos que existem diferenças entre as faixas de temperatura e notamos a ocorrência do ritmo circadiano.

## 1. Introdução

A análise do fluxo de energia em ecossistemas marinhos é um instrumento fundamental na formulação de modelos ecológicos que possam explicar o funcionamento dos mesmos.

*Micropogonias furnieri*, a espécie escolhida para este trabalho, é uma representante da família *Sciaenidae*, de ampla distribuição geográfica, ocorrendo em fundos arenosos e lodosos. Na costa brasileira, onde recebe o nome vulgar de corvina, é uma das espécies comerciais mais importantes do litoral sudeste, ocorrendo em salinidades entre 0,1 a 35 % e temperaturas entre 11 e 36,6°C. Esta espécie foi escolhida para o estudo, devido à sua grande importância econômica e ecológica, por ser amplamente estudada e, principalmente, por não haver sido realizado nenhum estudo sobre sua taxa metabólica.

Neste trabalho será abordado o consumo de oxigênio. Este consumo será determinado pela diferença entre a concentração inicial e final do oxigênio dissolvido num respirômetro de circuito aberto com fluxo conhecido.

Os objetivos do estudo são:

- a) Quantificar as taxas de metabolismo total em função da temperatura, ou seja, verificar se as taxas variam entre faixas de temperatura.
- b) Verificar o ritmo circadiano, ou seja, ocorrência de diferentes taxas metabólicas ao longo de um ciclo de 24 horas para possível determinação de variações das atividades metabólicas durante um certo período.

Os dados obtidos neste trabalho servirão de subsídios para elaboração de modelos ecológicos que permitirão conhecer o ecossistema local, para seu melhor gerenciamento e proteção.

## 2. Descrição do Estudo

Os dados foram obtidos de 28 peixes da espécie *Micropogonias furnieri*, coletados na Enseada do Flamengo, Ubatuba, litoral norte do Estado de São Paulo.

Os experimentos foram realizados em um laboratório com temperatura controlada e devidamente equipado, na base norte do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo ( IOUSP ).

Os peixes foram divididos em três faixas de temperatura da seguinte forma:

Temperatura de 19°C : 7 peixes, sendo 5 peixes cuja duração do experimento foi de 48 horas e 2 peixes cuja duração foi de 24 horas.

Temperatura de 23,5°C : 7 peixes, sendo 5 peixes cuja duração do experimento foi de 48 horas e 2 peixes cuja duração foi de 24 horas.

Temperatura de 28°C : 14 peixes, sendo 2 peixes cuja duração do experimento foi de 48 horas e 12 peixes cuja duração foi de 24 horas.

As medidas de consumo de oxigênio foram obtidas através de sensores que medem a quantidade de oxigênio na água: um localizado na entrada de uma câmara respirométrica onde se encontrava o peixe, e outro após a câmara. Através da diferença da concentração de oxigênio na água de entrada e na de saída, obteve-se o consumo de oxigênio de cada peixe. Os peixes passaram por um período de aclimatação e antes do início do experimento deixaram de ser alimentados, assim permanecendo até o final do experimento.

Na tentativa de diminuir a influência da salinidade sobre a fisiologia do peixe, a salinidade da água na câmara respirométrica foi igual à salinidade do local da coleta ( $32,5 \pm 1\%$ ).

### 3. Descrição das Variáveis

Foram medidas as seguintes variáveis:

- Consumo Médio : é o consumo de oxigênio de cada peixe, em intervalos de uma hora, medido em  $\mu\text{LO}_2/\text{h}$ .

- **Consumo Específico** : é o consumo de oxigênio do peixe em relação ao seu peso, em intervalos de uma hora, medido em  $\mu\text{LO}_2/\text{g/h}$ .
- Peso, medido em gramas.
- Comprimento, medido em centímetros.
- Sexo : macho e fêmea.
- Estádio : Maturidade do peixe. Varia de I ( jovem) a V ( maior maturidade ).

## 4. Análise Descritiva

Foram realizadas neste item as seguintes análises:

- a) Comparação entre os três níveis de temperatura em relação ao consumo específico e ao consumo médio.
- b) Verificação de periodicidades nas séries de consumo específico e médio.

Foram considerados apenas os peixes cujo experimento foi realizado durante 48 horas, pois os demais peixes apresentavam um número insuficiente de observações para uma análise adequada, principalmente àquela que se refere ao item b), anteriormente mencionado.

As variáveis peso, comprimento, sexo e estádio (Tabela 4.1) não foram consideradas, devido ao pequeno número de peixes observados na amostra.

### 4.1 Comparação Entre os Níveis de Temperatura

#### 4.1.1 Consumo Específico de Oxigênio

Observando a Tabela 4.2 notamos que alguns peixes (2 peixes) à temperatura 19°C têm o menor consumo médio específico de oxigênio e os peixes à temperatura 28°C apresentam o maior consumo médio. Os peixes a 28°C apresentam grandes diferenças entre si.

Considerando as médias dos peixes para cada temperatura (Tabela 4.3) notamos que, tanto a média quanto a mediana dessa variável para os peixes a 19°C e a 23,5°C são muito próximas, sendo que os peixes a 23,5°C apresentam a menor variabilidade. Notamos, ainda, que a média do consumo específico de oxigênio a 28°C é cerca de duas vezes maior do que nas outras temperaturas.

**Tabela 4.1** Medidas de cada peixe

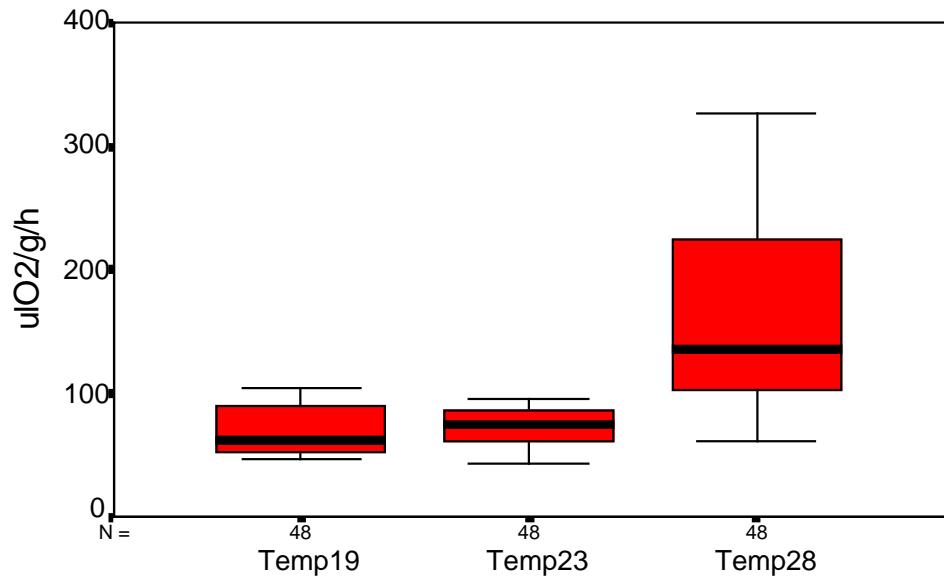
Temperatura(°C)	Peixe	Peso(g)	Comprimento(cm)	Estádio	Sexo
19	P1	34.35	16.1	I	F
	P2	26.73	14.9	I	F
	P3	148.23	25.9	V	F
	P4	21.65	13.7	II	M
	P5	73.56	19.7	II	F
	Média	60.90	18.06		
	Desvio Padrão	52.91	4.92		
23.5	P1	67.81	19.9	II	F
	P2	54.98	18.6	II	F
	P3	32.06	15.3	II	F
	P4	70.47	19.6	III	F
	P5	59.39	19	II	F
	Média	56.94	18.48		
	Desvio Padrão	15.25	1.85		
28	P1	54.98	18.6	II	F
	P2	48.22	17.2	II	F
	Média	51.60	17.90		
	Desvio Padrão	4.78	0.99		

Através do “Boxplot” do consumo específico (Gráfico 4.1) constatamos as diferenças entre os três grupos, ou seja, o consumo a 19°C e a 23,5°C são muito parecidos enquanto que a 28°C o consumo é maior e possui maior variabilidade.

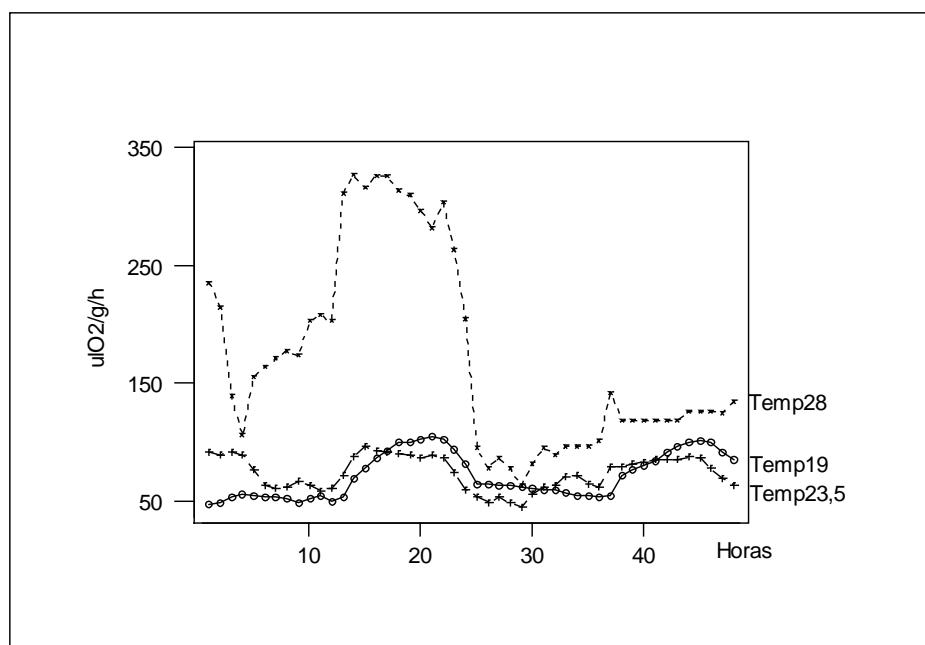
O gráfico das séries das médias do consumo específico (Gráfico 4.2) nos mostra que as séries do consumo a 19°C e a 23,5°C estão bem próximas, ou seja, têm comportamentos parecidos e valores próximos ao longo das 48 horas. A série do

consumo a 28°C apresenta valores maiores, que os das outras séries, ao longo das 48 horas, porém o consumo nas primeiras 24 horas parece ser muito maior que nas 24 horas seguintes, o que pode estar ocorrendo devido à grande diferença entre os dois peixes dessa faixa de temperatura ( Gráfico A.3 ).

**Gráfico 4.1** “Boxplot” do consumo específico de oxigênio



**Gráfico 4.2** Séries médias do consumo específico de oxigênio



**Tabela 4.2** - Estatísticas descritivas para consumo específico

Temperatura(°C)	Peixe	N	Média	Mediana	Desvio padrão
19	P1	48	59.35	59.18	13.04
	P2	48	71.21	66.28	18.90
	P3	48	39.53	37.11	16.27
	P4	48	96.85	91.88	38.33
	P5	48	89.26	67.97	86.00
23,5	P1	48	88.20	86.13	23.70
	P2	48	67.10	55.47	27.56
	P3	48	72.58	64.55	24.39
	P4	48	68.50	62.88	24.46
	P5	48	71.46	63.66	27.22
28	P1	48	131.07	135.82	38.39
	P2	48	213.10	79.80	180.70

**Tabela 4.3** Estatísticas descritivas da média do consumo específico

Temperatura(°C)	N	Média	Mediana	Desvio padrão	Min	Max
19°	48	71.24	63.08	35.33	14.17	200.05
23,5°	48	73.57	66.14	26.42	29.10	149.05
28°	48	172.10	130.30	136.30	35.60	531.10

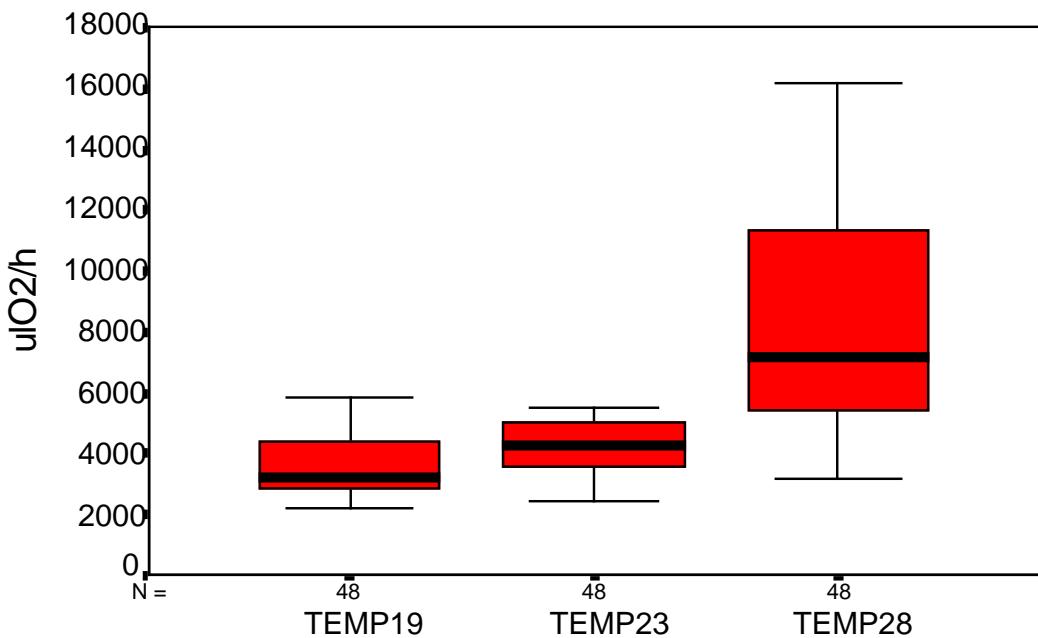
#### 4.1.2 Consumo Médio de Oxigênio

Analizando a média do consumo médio de oxigênio para cada temperatura (Tabela 4.4) e o “Boxplot” do consumo médio (Gráfico 4.3), observamos que o consumo parece aumentar com o aumento da temperatura, sendo que o consumo a 28°C é praticamente o dobro do consumo a 23,5°C e este é ligeiramente maior que o consumo a 19°C, com variabilidade menor a 23,5°C e maior a 28°C.

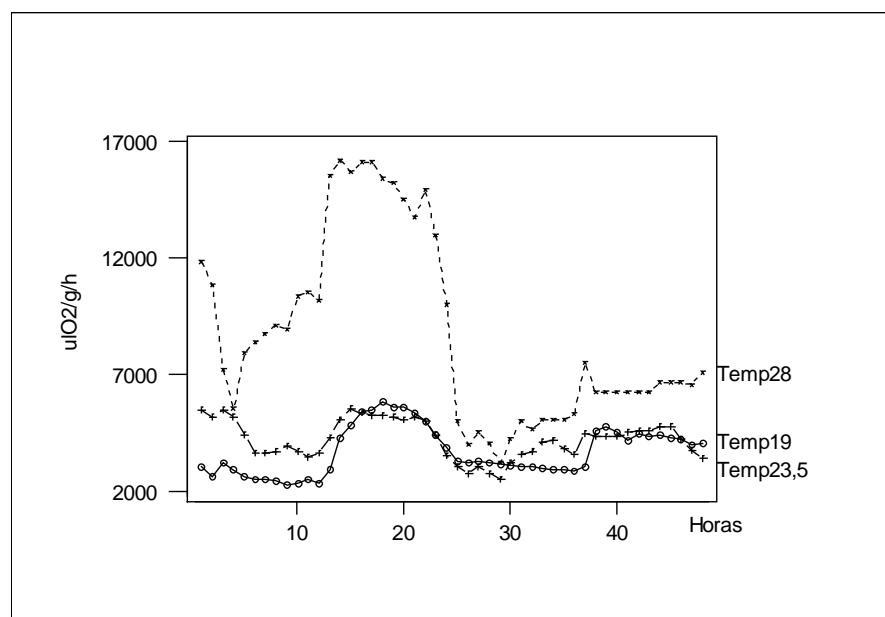
**Tabela 4.4** Estatísticas descritivas para a média do consumo médio

Temperatura(°C)	N	Média	Desvio padrão	Min	Max
19	48	3691.97	1042.17	2225.77	5838.73
23,5	48	4212.68	817.09	2478.68	5524.04
28	48	8740.95	4049.59	3192.89	16220.67

**Gráfico 4.3** “Boxplot” do consumo médio de oxigênio



**Gráfico 4.4** Séries médias do consumo médio de oxigênio



O gráfico das séries das médias do consumo médio (Gráfico 4.4) comporta-se de maneira quase idêntica ao gráfico das médias do consumo específico (Gráfico 4.2), assim como o “Boxplot” do consumo médio de oxigênio é parecido com o “Boxplot” do consumo específico de oxigênio.

O consumo médio de oxigênio tem as mesmas características do consumo específico.

## 4.2 Verificação de Periodicidades

### 4.2.1 Consumo Específico de Oxigênio

Fazendo uma análise prévia, utilizando a função de autocorrelação (Definição D.1 e gráficos do apêndice B), notamos uma possível periodicidade em todas as faixas de temperatura e observamos uma componente não estacionária (lento decaimento das autocorrelações) para alguns peixes, principalmente para os dois peixes da faixa de temperatura 28°C.

Analizando os periodogramas (D.3) verificamos:

- Para a faixa de temperatura de 19°C (Gráfico C.1), dois picos se destacam, o primeiro na segunda ordenada do periodograma e o outro referente à quarta ordenada. Estes picos indicam possíveis períodos de 24 e 12 horas respectivamente. Considerando o periodograma da média do consumo específico destes peixes (média calculada para cada hora), obtemos dois picos principais, cujos resultados estão na Tabela 4.5.

**Tabela 4.5** Valores observados e valores tabelados para o teste de Fisher, temperatura 19°C, ao nível de significância de 5%.

Pico	Ordenada	Período (horas)	valor observado	valor tabelado
1°	2 <sup>a</sup>	24	0.3428	0.23652
2°	4 <sup>a</sup>	12	0.2161	0.15620

Utilizando o teste de Fisher (D.4) para periodicidade, verificamos que os dois picos são significantes, ou seja, temos períodos de 24 (principal) e 12 (secundário) horas.

- Para a faixa de temperatura de 23,5°C (Gráfico C.2), verificamos a não existência de um pico comum a todos os peixes. Considerando-se o periodograma da média do consumo específico e utilizando o teste de Fisher, verificamos apenas um pico significante, na segunda ordenada, cujo valor observado é de 0.3025, que quando comparado com o valor crítico de 0.23652 nos leva a concluir, ao nível de significância de 5%, que existe uma periodicidade de 24 horas.

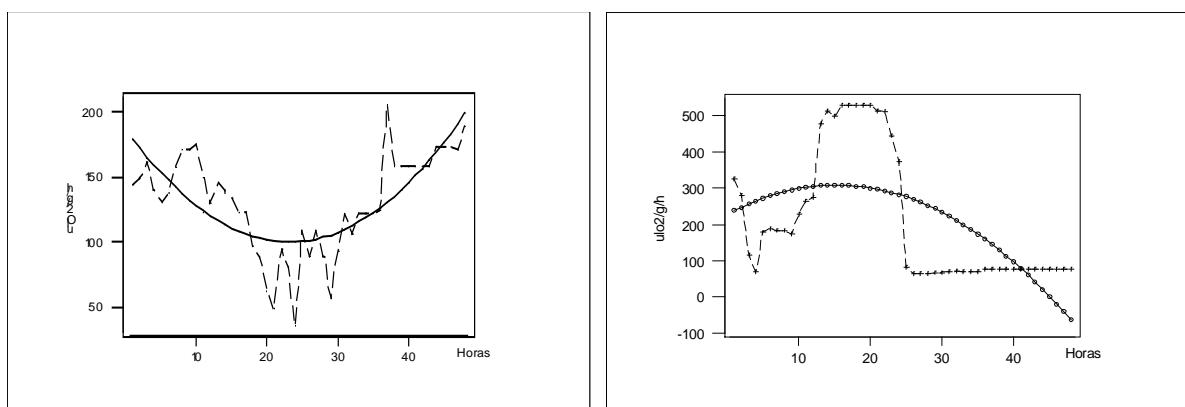
- Para a faixa de temperatura de 28°C (Gráfico C.3), notamos que o maior valor do periodograma, para ambos os peixes, encontra-se na primeira ordenada, o que nos diz que as séries não são estacionárias. A série das médias do consumo específico também não apresenta estacionariedade.

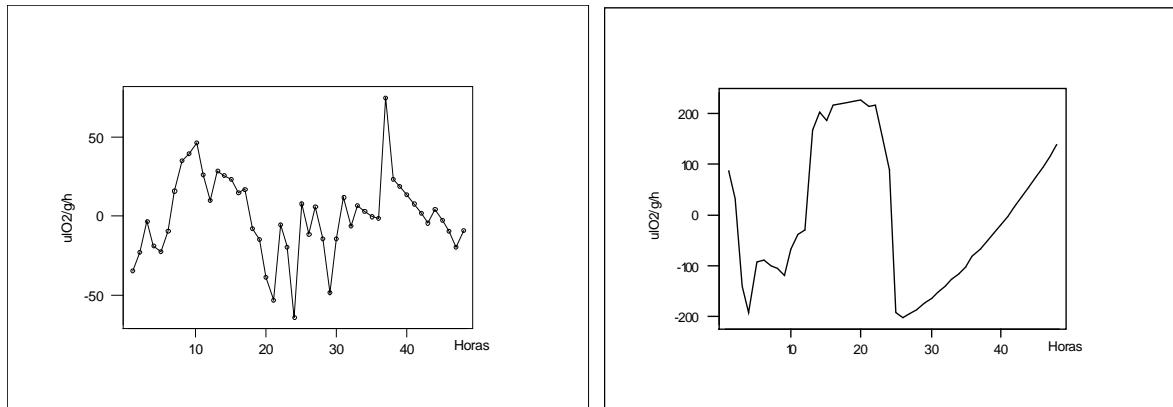
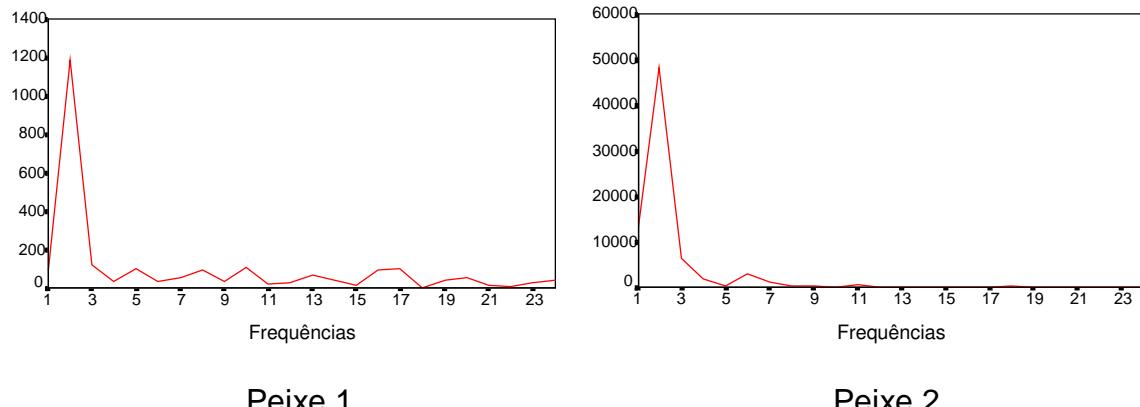
Notamos, através do Gráfico 4.5, que as séries dos peixes apresentam tendência quadrática (oposta). Removendo-se estas tendências (Gráfico 4.6), obtemos séries estacionárias, cujos periodogramas (Gráfico 4.7) nos mostram que existe uma periodicidade de 24 horas para estes peixes.

#### 4.2.2 Consumo Médio de Oxigênio

Considerando o periodograma das séries do consumo médio de oxigênio, obtemos as mesmas conclusões da análise dos periodogramas para as séries de consumo específico, visto que as séries do consumo médio de oxigênio apresentam o mesmo comportamento que as séries do consumo específico de oxigênio.

**Gráfico 4.5** Tendência quadrática das séries



**Gráfico 4.6** Séries sem tendência**Gráfico 4.7** Periodograma das séries

## 5. Análise Inferencial

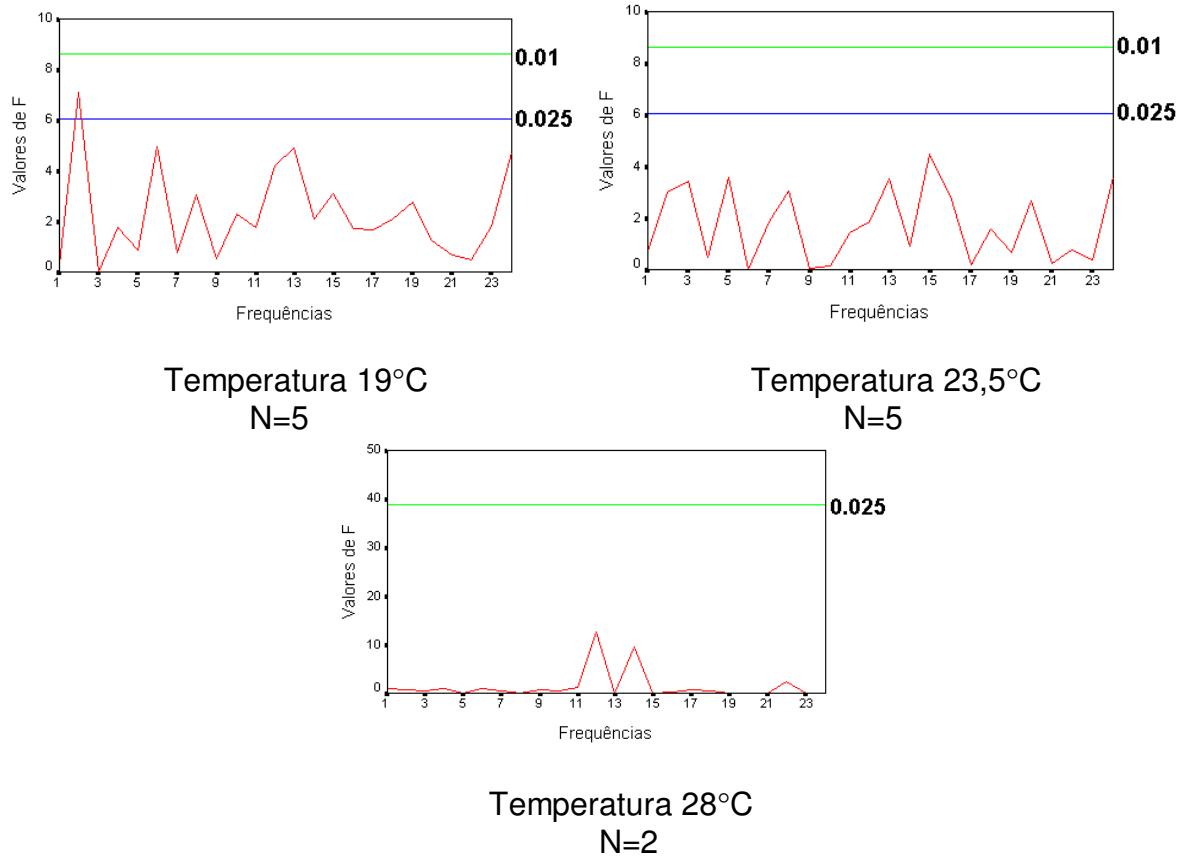
Para a análise deste item foi utilizada a técnica estatística denominada análise de variância em séries temporais (Chiann,1993) utilizando transformada de Fourier (Apêndice D.5), considerando-se dois modelos: modelo com sinal comum e modelo com um fator fixo.

## 5.1 Modelo com Sinal Comum

### 5.1.1 Consumo Específico de Oxigênio

Considerando-se este modelo, testamos a existência de um sinal comum no consumo específico de oxigênio dos peixes, para cada uma das faixas de temperatura ( $19^{\circ}\text{C}$ ,  $23.5^{\circ}\text{C}$  e  $28^{\circ}\text{C}$ ), sendo 5 peixes à temperatura de  $19^{\circ}\text{C}$ , 5 peixes à temperatura de  $23.5^{\circ}\text{C}$  e 2 peixes à temperatura de  $28^{\circ}\text{C}$ . Os resultados das estatísticas utilizadas no teste estão apresentados no Gráfico 5.1.

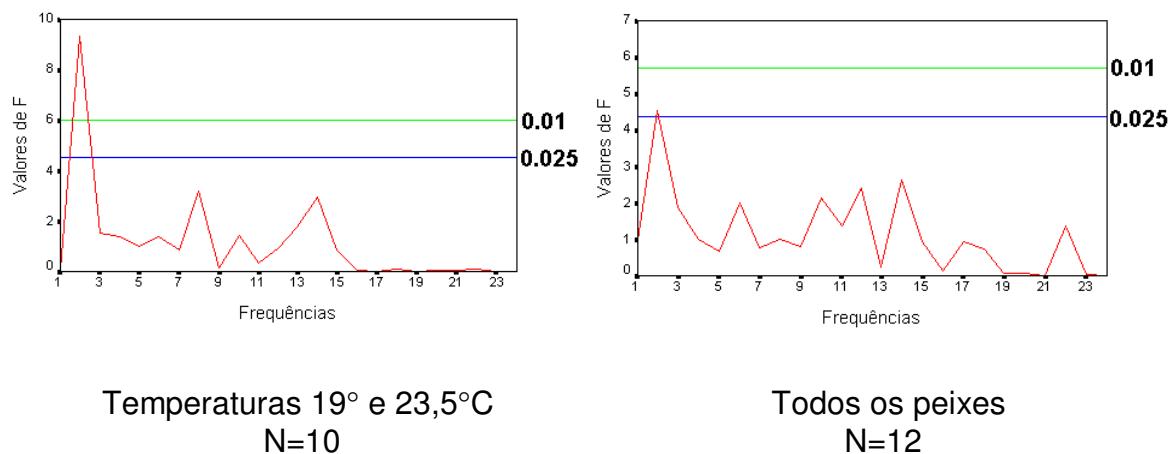
**Gráfico 5.1** Estatísticas (D.5.2) para verificação de existência de sinal comum



Notamos que, ao nível de significância de 2,5%, para a temperatura de  $19^{\circ}\text{C}$ , existe um sinal comum para os peixes na frequência referente ao índice 2 ( $\lambda_2 = 0.2618$ ) que equivale a uma periodicidade de 24 horas. Nas outras duas faixas de temperaturas, o teste não detectou similaridade nos sinais, possivelmente pelo número reduzido de séries utilizadas.

O modelo também foi utilizado para as séries do consumo dos peixes a 19°C e 23.5°C conjuntamente e as séries do consumo de todos os peixes (este modelo não considera o fator temperatura), pois assim temos um número maior de séries (10 e 12 séries, respectivamente). As estatísticas dos testes para estes modelos estão apresentadas no Gráfico 5.2.

**Gráfico 5.2** Estatísticas (D.5.2) para verificação de existência de sinal comum



Com um número maior de séries, observamos que os testes detectam, ao nível de significância de 2,5%, a existência de uma periodicidade de 24 horas comum aos peixes, em todas as faixas de temperatura. Na Tabela 5.1 vemos um resumo dos resultados obtidos.

### 5.1.2 Consumo Médio de Oxigênio

Os testes para esta variável apresentaram, de maneira geral, os mesmos resultados que o consumo específico, ou seja, uma periodicidade comum de 24 horas para todas as faixas de temperaturas, conforme podemos verificar na Tabela 5.2.

**Tabela 5.1** Periodicidades detectadas (Gráficos 5.1 e 5.2)

Teste	Índice	Frequência	Período	Nível Descritivo
19°C	2	0.2618	24	0.0175
19°C + 23.5°C	2	0.2618	24	0.0017
Todos	2	0.2618	24	0.0220

**Tabela 5.2** Periodicidades detectadas no consumo médio de oxigênio

Teste	Índice	Frequência	Período	Nível Descritivo
19°C + 23.5°C	2	0.2618	24	0.0116
Todos	2	0.2618	24	0.0208

## 5.2 Modelo com Um Fator

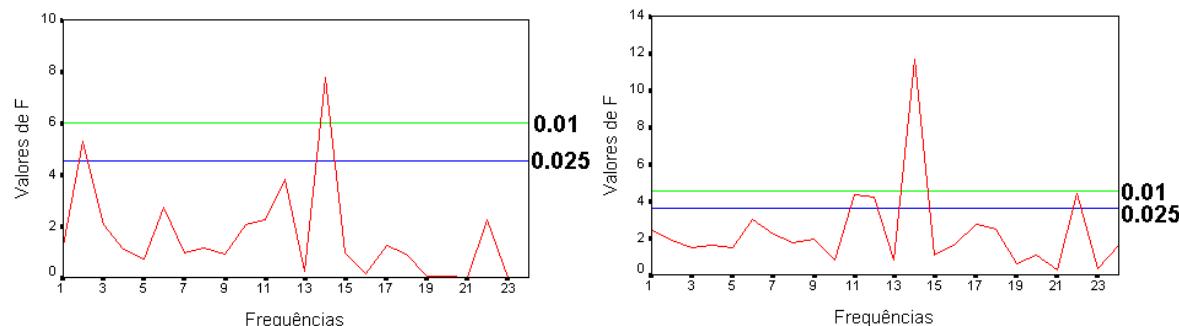
Considerando o modelo com um fator fixo (temperatura) com três níveis: 19°C, 23.5°C e 28°C, testamos a existência de um sinal comum no consumo de oxigênio para todos os peixes e verificamos o efeito de cada temperatura sobre o consumo dos mesmos.

### 5.2.1 Consumo Específico de Oxigênio

Aplicando os testes para esta variável, obtivemos os resultados apresentados no Gráfico 5.3.

Verificamos através do teste do sinal comum, que existem duas frequências em que há similaridade entre os sinais dos peixes: uma relativa ao índice 2 ( $\lambda_2 = 0.2618$ ), que nos indica uma periodicidade comum de 24 horas e outra relativa ao índice 14 ( $\lambda_{14} = 1.8326$ ), que nos indica uma periodicidade em comum de 3.43 horas. Esta última frequência não deve ser considerada, devido ao período curto, pois períodos curtos indicam ruídos nas séries.

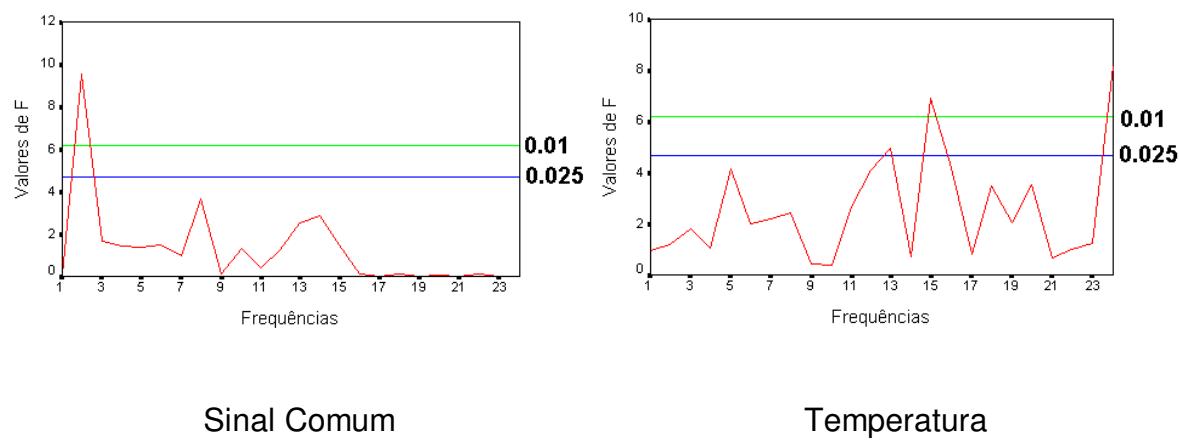
**Gráfico 5.3** Estatísticas (D.5.3) e (D.5.4) para verificação de existência de sinal comum e efeito de temperatura.



**Sinal Comum**  
 Há efeito de temperatura em poucas frequências (relativas aos índices 11,12,14 e 22) e todas elas referentes a ruídos. Devemos ter em vista que um número maior de séries poderiam nos mostrar a existência de efeito de temperatura em frequências de interesse.

Foi analisado também um modelo com dois níveis, 19°C e 23.5°C, cujos resultados estão apresentados no Gráfico 5.4 (estatísticas D.5.3 e D.5.4).

**Gráfico 5.4** Verificação de existência de sinal comum e efeito de temperatura (19°C e 23.5°C).



O teste do sinal comum para este modelo nos mostrou uma periodicidade de 24 horas comum às duas faixas de temperatura, e o teste de efeito de temperatura mostrou que há efeito de temperatura apenas nas frequências relativas aos índices 13 ( $\lambda_{13} = 1.7017$ ), 15 ( $\lambda_{15} = 1.9635$ ) e 24 ( $\lambda_{24} = 3.1416$ ) que indicam periodicidades de 3.69, 3.2 e 2 horas, respectivamente. Verificamos, como no modelo anterior, que as faixas de temperaturas são diferentes somente com relação aos ruídos das séries. Os resultados obtidos neste item estão resumidos nas Tabela 5.3 e 5.4.

**Tabela 5.3** Frequências comuns detectadas (gráfico 5.3 e 5.4)

Teste	Índice	Frequência	Período	Nível Descritivo
-------	--------	------------	---------	------------------

Todos	2	0.2618	24	0.0140
	14	1.8326	3.43	0.0037
19°C + 23.5°C	2	0.2618	24	0.0038

**Tabela 5.4** Frequências selecionadas pelo teste de efeito de temperatura (gráfico 5.3 e 5.4)

Teste	Índice	Frequência	Período	Nível Descritivo
Todos	11	1.4399	4.36	0.0119
	12	1.5708	4.00	0.0140
	14	1.8326	3.43	0.0001
	22	2.8798	2.18	0.0111
19°C + 23.5°C	13	1.7017	3.69	0.0206
	15	1.9635	3.20	0.0066
	24	3.1416	2.00	0.0035

### 5.2.2 Consumo Médio de Oxigênio

Os resultados dos testes para esta variável foram semelhantes ao resultados do consumo específico, como verificamos nas Tabelas 5.5 e 5.6.

**Tabela 5.5** Frequências comuns detectadas

Teste	Índice	Frequência	Período	Nível Descritivo
Todos	2	0.2618	24	0.0177
19°C + 23.5°C	2	0.2618	24	0.0092

**Tabela 5.6** Frequências selecionadas pelo teste de efeito de temperatura

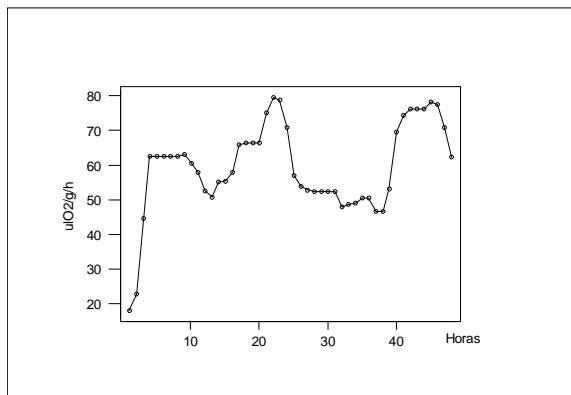
Teste	Índice	Frequência	Período	Nível Descritivo
Todos	11	1.4399	4.36	0.0135
	14	1.8326	3.43	0.0026
19°C + 23.5°C	13	1.7017	3.69	0.0106
	24	3.1416	2.00	0.0101

## 6. Conclusões

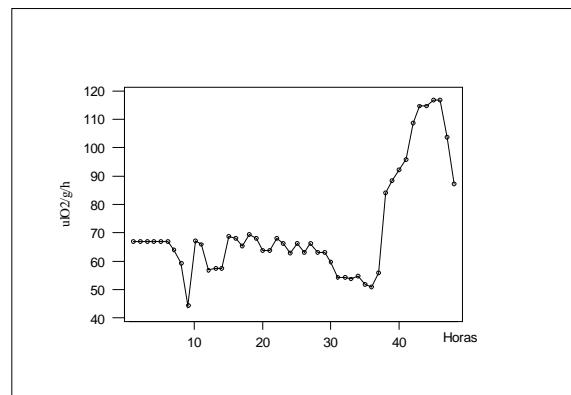
- 1) Verificamos, descritivamente, que o consumo de oxigênio (específico e médio) dos peixes é maior à temperatura de 28°C do que à temperatura de 19°C e 23.5°C.
- 2) Verificamos a existência do ritmo circadiano, ou seja, uma periodicidade de 24 horas, sendo esta comum aos peixes em todas as faixas de temperatura estudadas.
- 3) Através da análise de variância do modelo com um fator fixo, só encontramos diferenças significativas nos comportamentos dos peixes entre as diferentes faixas de temperatura quanto ao comportamento dos ruídos das séries.

**APÊNDICE A**  
**Séries do Consumo Específico de Oxigênio**

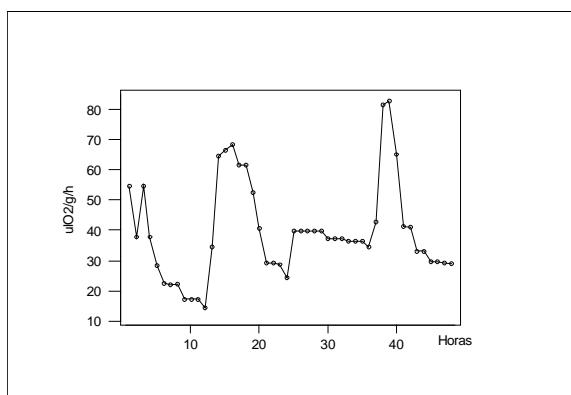
**Gráfico A.1 - Consumo Específico de oxigênio à temperatura de 19°C**



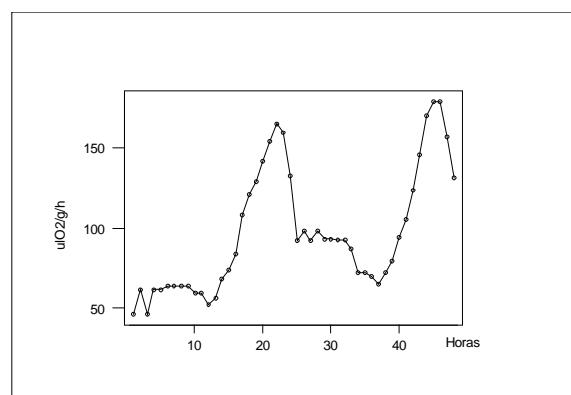
Peixe 1



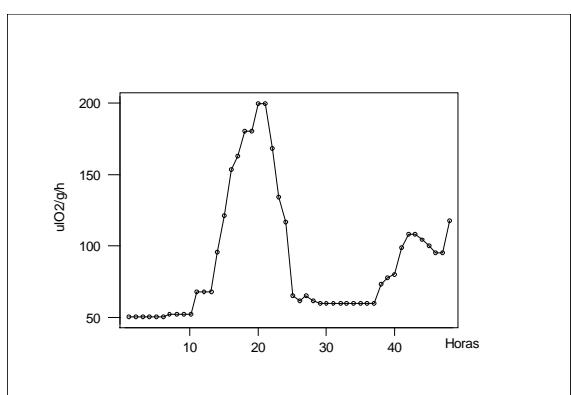
Peixe 2



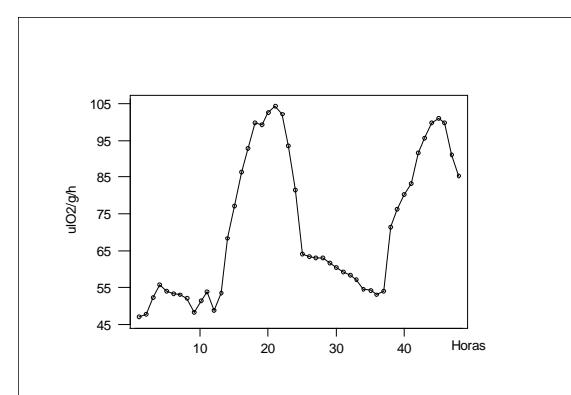
Peixe 3



Peixe 4



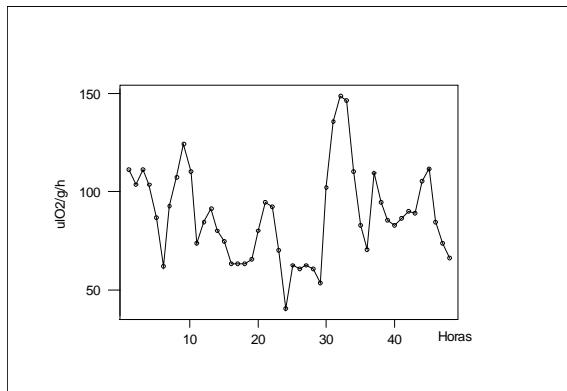
Peixe 5



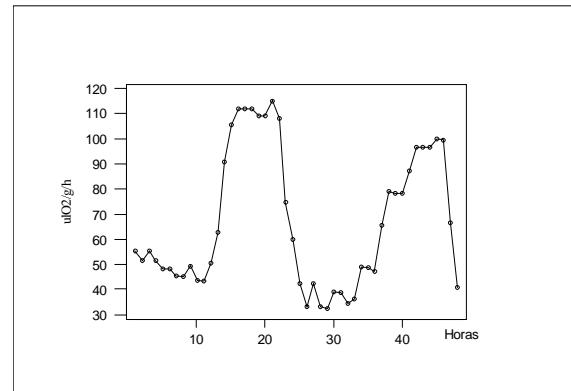
Média



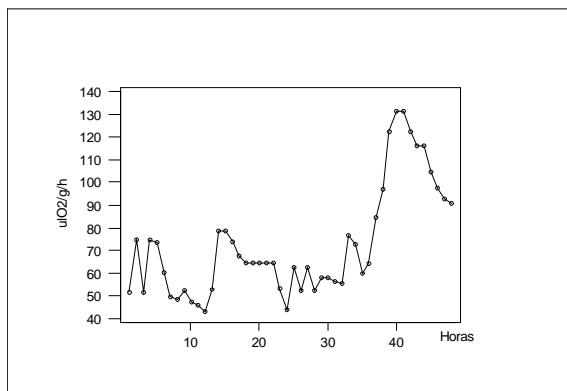
**Gráfico A.2 - Consumo Específico de oxigênio à temperatura de 23,5°C**



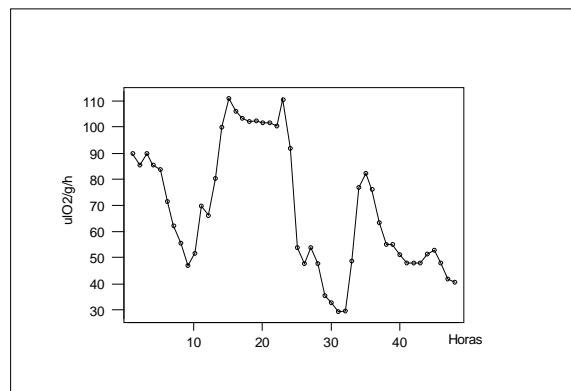
Peixe 1



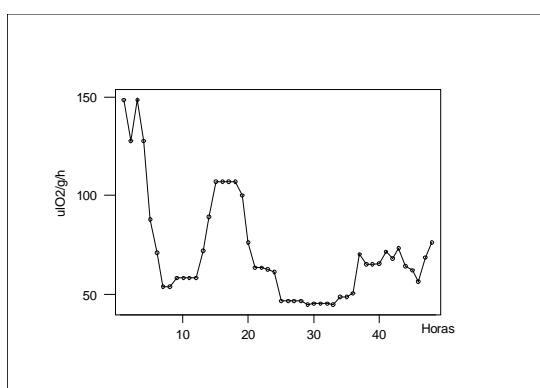
Peixe 2



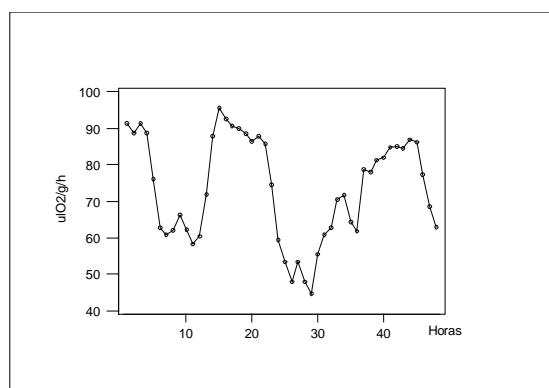
Peixe 3



Peixe 4



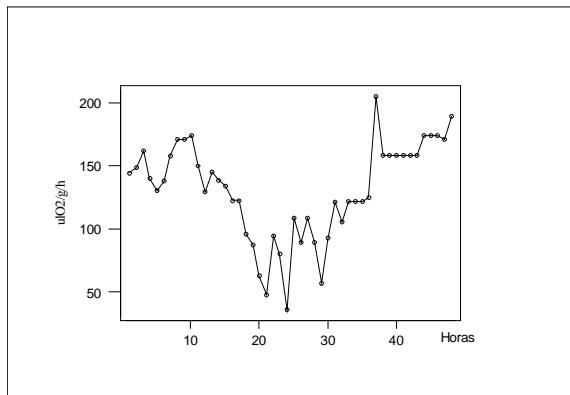
Peixe 5



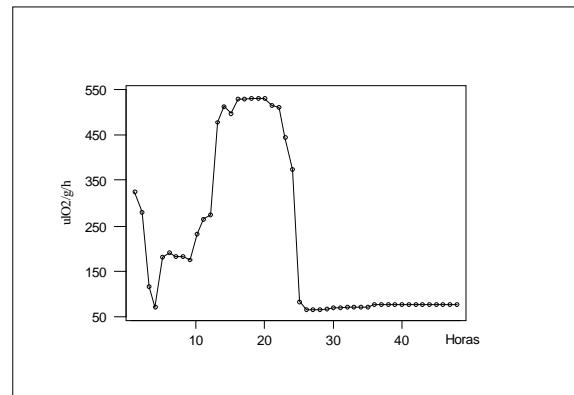
Média



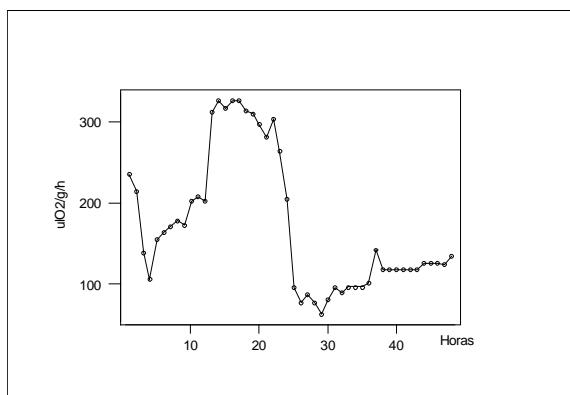
**Gráfico A.3 - Consumo Específico de oxigênio à temperatura de 28°C**



Peixe 1



Peixe 2

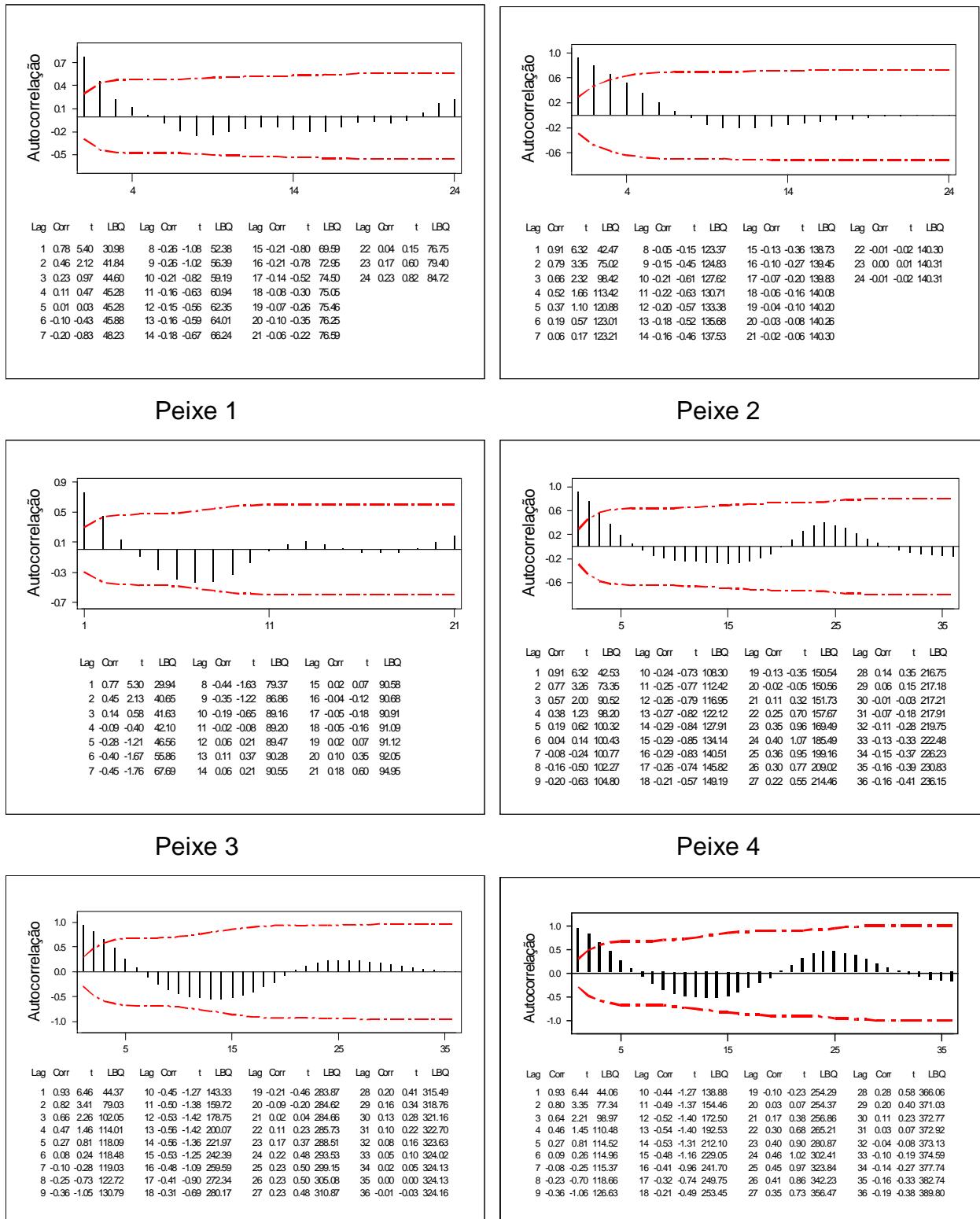


Média

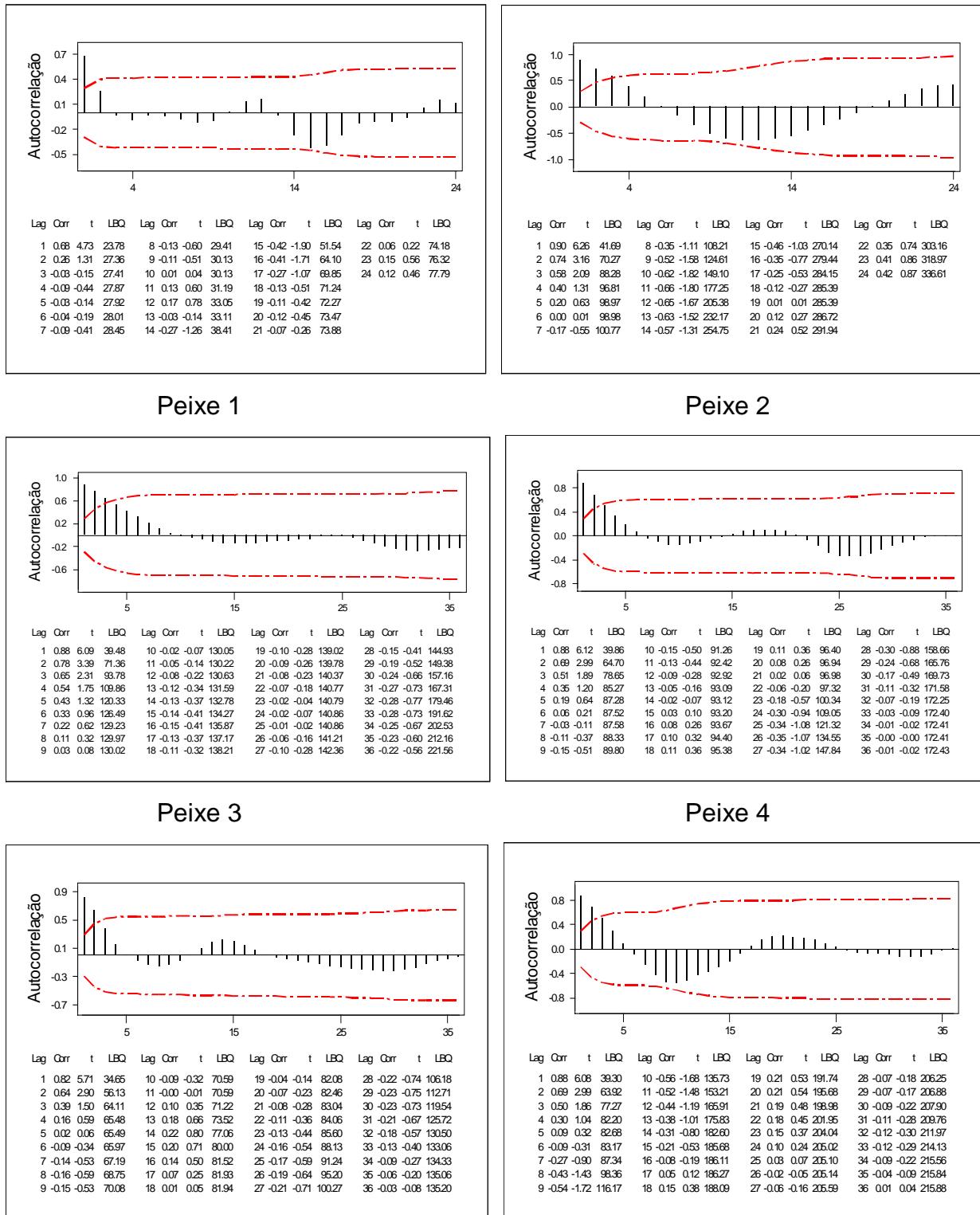
## **APÊNDICE B**

### **Funções de Autocorrelação das Séries de Consumo Específico**

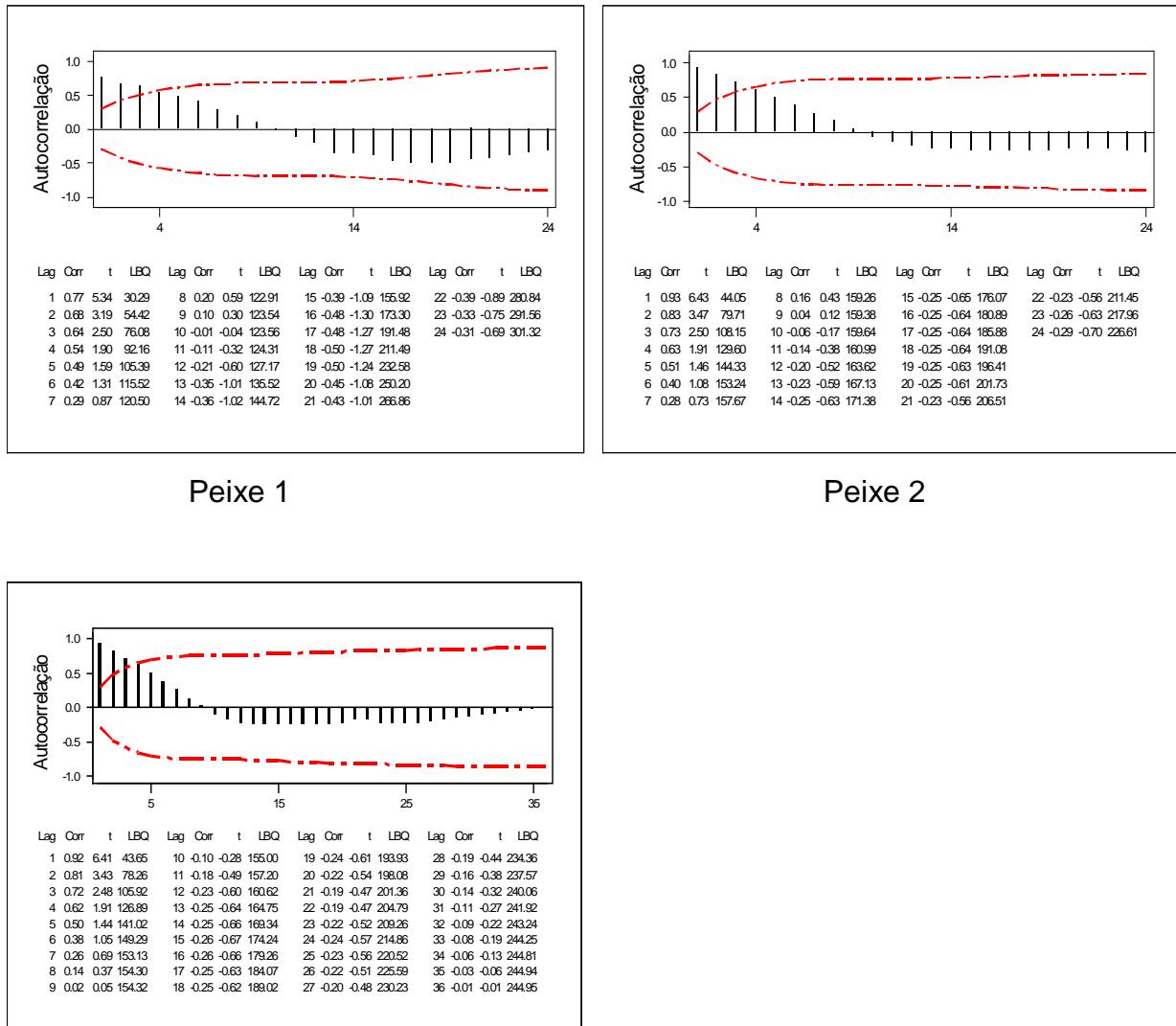
**Gráfico B.1 - Função de autocorrelação à temperatura de 19°C**



**Gráfico B.2 - Função de autocorrelação à temperatura de 23,5°C**

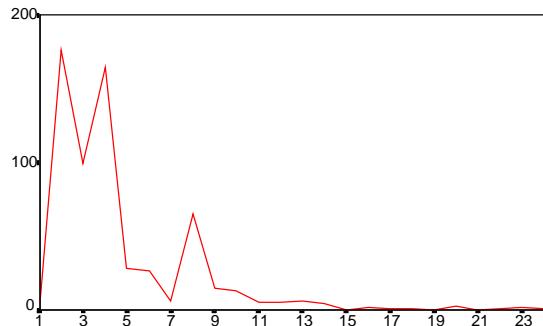


**Gráfico B.3 - Função de autocorrelação à temperatura de 28°C**

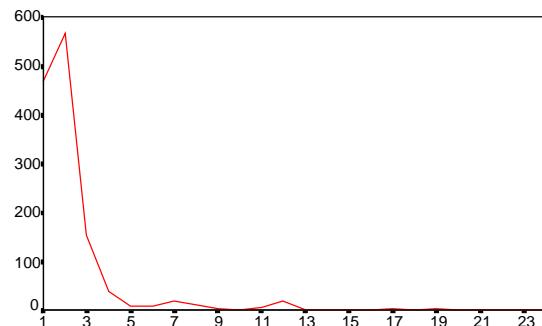


## **APÊNDICE C**

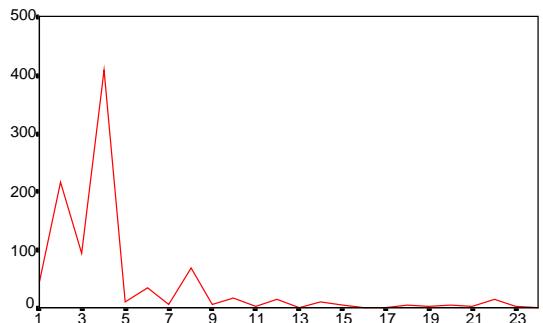
### **Periodogramas das Séries de Consumo Específico**

**Gráfico C.1 - Periodogramas à temperatura de 19°C**

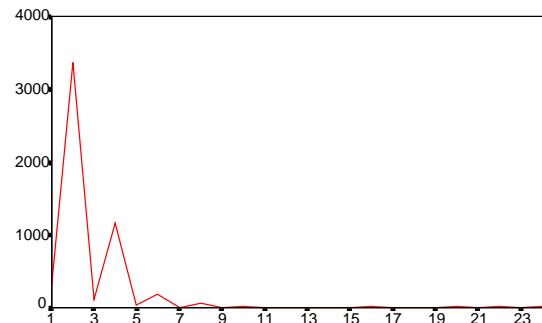
Peixe 1



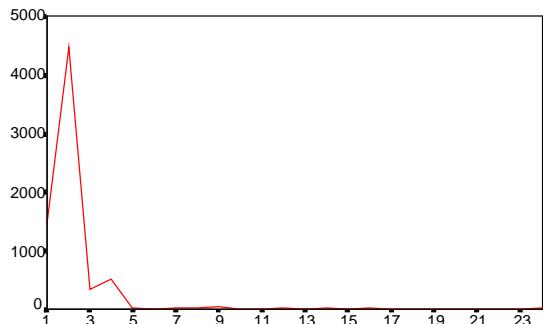
Peixe 2



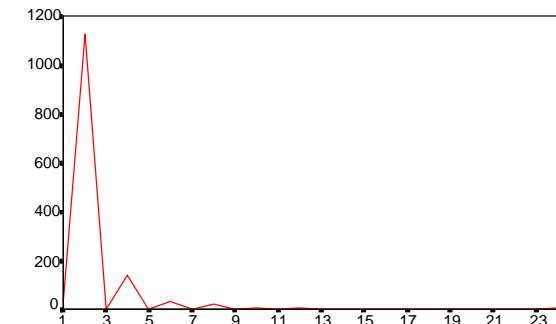
Peixe 3



Peixe 4

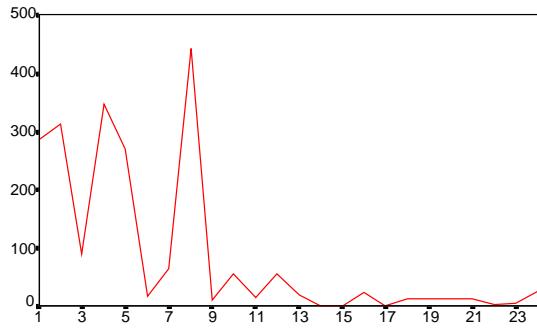


Peixe 5

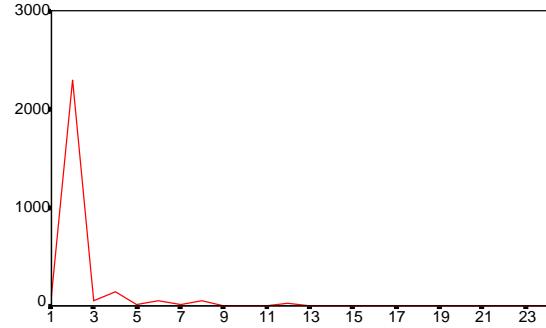


Média

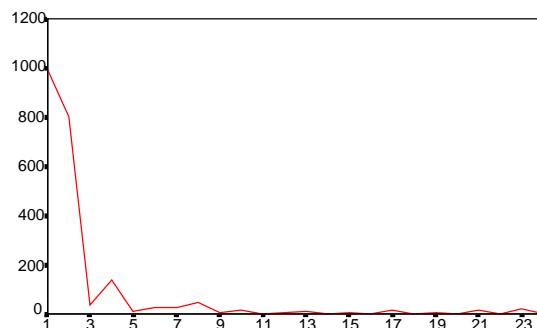
**Gráfico C.2 - Periodogramas à temperatura de 23,5°C**



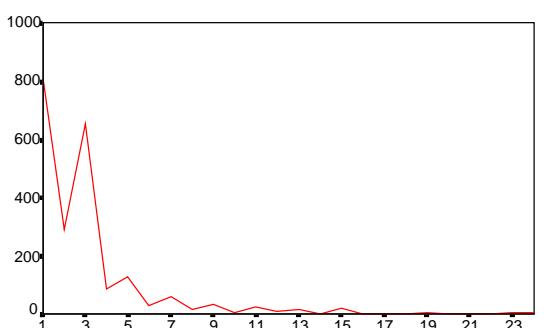
Peixe 1



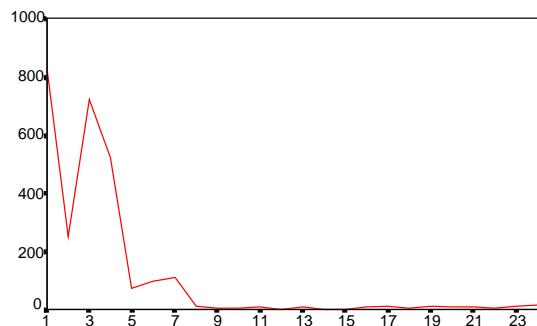
Peixe 2



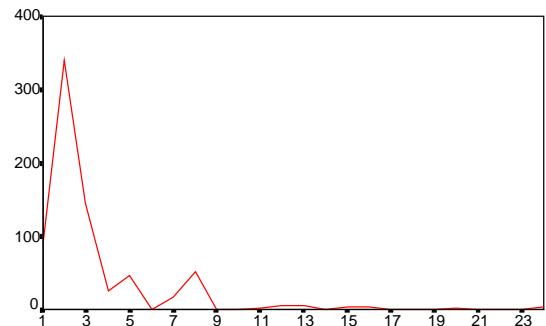
Peixe 3



Peixe 4

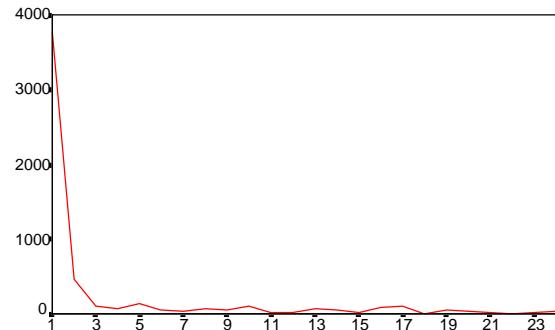


Peixe 5

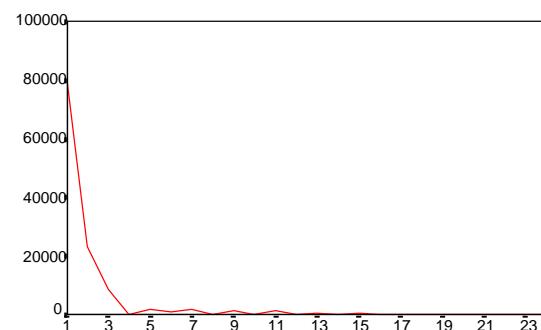


Média

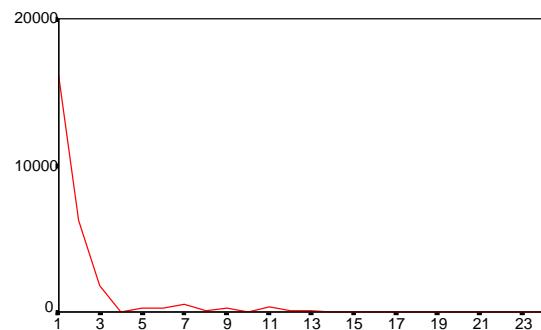
**Gráfico C.3 - Periodogramas à temperatura de 28°C**



Peixe 1



Peixe 2



Média

## **APÊNDICE D**

### **Definições**

## D.1 Função de Autocorrelação

Consideremos um processo  $Z = \{Z(t), t \in T\}$  estacionário (Apêndice D.2). A sua função de autocorrelação é definida por:

$$\rho(\tau) = \frac{\gamma(\tau)}{\gamma(0)} \quad , \tau = 0, \pm 1, \dots$$

onde  $\gamma(\tau) = E\{(Z(t)-\mu_t)(Z(t+\tau)-\mu_t)\}$  é chamada função de autocovariância (Morettin et al, 1987) do processo  $Z$  e  $\mu_t$  é a média do processo.

Se observarmos uma série temporal  $Z_1, \dots, Z_N$  então  $\gamma(k)$  será estimada por

$$C_k = N^{-1} \sum_{t=1}^{N-k} (Z_t - \bar{Z})(Z_{t+k} - \bar{Z}) \quad , k=0,1,\dots,N-1$$

onde  $\bar{Z} = N^{-1} \sum_{t=1}^N Z_t$  é a média amostral.

Logo, a função de autocorrelação amostral

$$r_k = \frac{C_k}{C_0} \quad , k=0,\dots,N-1$$

é um estimador de  $\rho(\tau)$ .

## D.2 Processos Estacionários

Processos estacionários (Morettin et al., 1987) são processos invariantes sob translações do tempo, ou seja, oscilam em torno de uma média  $\mu(t)$  constante, com variância também constante, isto é,

$$\mu(t) = \mu$$

$$V(t) = \sigma^2,$$

para todo  $t \in T$ .

A função de autocorrelação de um processo estacionário decai rapidamente para zero.

### D.3 Função Densidade Espectral e Periodograma

A função densidade espectral (Rocha,1983 e Chiann,1993) de um processo estacionário, tal que  $\sum \gamma(k) < \infty$ , é dada pela transformada de Fourier da função de autocovariância, isto é,

$$f(\omega) = (2\pi)^{-1} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \gamma(k) \exp(-i\omega k)$$

Invertendo a expressão acima temos que:

$$\gamma(k) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(\omega) \exp(i\omega k) d\omega$$

com

$$\gamma(0) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(\omega) d\omega.$$

Assim podemos interpretar a função densidade espectral,  $f(\omega)$ , como sendo a variância de um processo  $Z_t$  em um intervalo de freqüência  $dv$  centrado em  $\omega$ . Neste caso, o gráfico da função densidade espectral descreve, essencialmente, uma análise de variância do processo como uma função da freqüência, que está relacionada com componentes periódicas existentes no processo.

Consideremos agora a série de observações  $Z_1, \dots, Z_N$  de um processo estacionário. Temos então que o periodograma é definido por:

$$I_j = |T_{\omega_j}^N|^2 = (2\pi N)^{-1} \left| \sum_{l=1}^N Z_l \exp(-i\omega_j l) \right|^2$$

onde  $T_{\omega_j}^N$  é a transformada finita de Fourier da série  $Z$ .

As freqüências de Fourier são dadas por:

$$\omega_j = \frac{2\pi j}{N}, \quad j = 0, \dots, [N/2]$$

e os períodos correspondentes a estas freqüências são calculados por:

$$P_j = \frac{1}{\omega_j} = \frac{N}{2\pi j}.$$

O periodograma tem as seguintes propriedades:

a)  $\lim_{N \rightarrow \infty} E[I_j] = f(\omega_j)$

b)  $\lim_{N \rightarrow \infty} \text{Var}[I_j] = f^2(\omega_j)$

c)  $\lim_{N \rightarrow \infty} \text{Cov}[I_j, I_i] = 0, i \neq j.$

As ordenadas com valores altos (picos) indicam quais são as freqüências importantes e, consequentemente, os períodos da série.

#### D.4 Teste de Fisher para Periodicidades

Fisher (1929) desenvolveu um teste de significância para o maior pico do periodograma, fornecendo uma tabela de valores críticos para vários comprimentos de série. Este teste foi estendido para incluir o segundo maior pico.

As hipóteses do teste são:

$H_0$  : Não existe componente periódica na série.

$H_1$  : Existe componente periódica na série.

Rejeitamos a hipótese  $H_0$  se observarmos um valor para a estatística de Fisher maior do que o valor crítico do teste.

A estatística do teste proposto por Fisher é a maior das ordenadas do periodograma nas freqüências de Fourier dividida pela soma dessas ordenadas, ou seja :

$$g^{(1)} = \frac{I^{(1)}}{I_1 + \dots + I_m},$$

onde  $I^{(1)} = \max\{I_j, j=1, \dots, m\}$  e  $m = [N/2]$ .

Se a maior ordenada é significante, podemos testar a segunda maior ordenada.

Para a segunda maior ordenada, temos:

$$g^{(2)} = \frac{I^{(2)}}{(I_1 + \dots + I_m) - I^{(1)}}.$$

Shimshoni (1971) fornece tabelas para vários valores de  $m$  para um nível de significância de 0,05 (Tabela D.1).

Temos que  $m$  é a metade do número de observações da série e  $r$  é a ordenada que está sendo testada, ou seja, utilizando a coluna 1 para testar a maior ordenada, e a coluna 2 para testar a segunda maior. Existem testes mais adequados para testarmos um número maior de periodicidades em uma série.

Em nosso trabalho temos  $m = 24$ , o que nos dá um  $g$  crítico (valor obtido por interpolação) de 0,23652 para a maior ordenada e 0,1562 para a segunda maior ordenada (o valor do teste de Fisher para o maior pico é fornecido pelo aplicativo ITSM).

**Tabela D.1** - Parâmetros de significância para componentes periódicas

( $\alpha = 0.05$  e  $m=5$  a 50 )

m	r	
	1	2
5	0.68377	
10	0.44495	0.26511
15	0.33461	0.21016
20	0.27040	0.17547
25	0.22805	0.15139
30	0.19784	0.13360
35	0.17513	0.11986
40	0.15738	0.10890
45	0.14310	0.09993
50	0.13135	0.09244

## D.5 Análise de Variância em Séries Temporais Utilizando a Transformada de Fourier

Quando temos como medidas resposta um conjunto de  $N$  séries temporais estacionárias, cada uma com  $T$  observações,  $\{ Y_n(t), t = 0, \dots, T-1 \text{ e } n = 1, \dots, N \}$ , utilizaremos como ferramenta básica para a análise de variância, a transformada de Fourier de cada uma delas, ou seja,

$$Y_n^*(k) = (2\pi T)^{-1/2} \sum_{t=0}^{T-1} Y_n(t) \exp\{-i2\pi kt/T\} \quad (D.5.1)$$

para  $k = 0, \dots, \frac{T-1}{2}$ . Pode-se demonstrar que as transformadas de Fourier dadas por (D.5.1) convergem em distribuição para normais assintoticamente independentes (ver Chiann, 1993).

### D.5.1 Modelo com um Sinal Comum Determinístico

Caso estejamos interessados em detectar um sinal comum em um conjunto de  $N$  séries temporais, podemos usar o modelo:

$$Y_n(t) = \mu_n + \Omega(t) + \varepsilon_n(t)$$

para  $n=1, \dots, N$ ,  $t=0, \dots, T-1$ ,

onde

$\mu_n$  é a média da  $n$ -ésima série e é constante;

$\Omega(t)$  representa o sinal comum a todas as séries;

$\varepsilon_n(t)$  são os resíduos.

Testando a hipótese

$$H_0: \Omega(t) = 0,$$

verificamos a existência de sinal comum quando esta é rejeitada.

Pela definição (D.5.1) podemos reescrever o modelo utilizando as transformadas de Fourier e então testar a hipótese da existência do sinal comum, nas frequências de Fourier.

Na Tabela D.2 temos a ANOVA (Análise de Variância usando Fourier) na frequência  $\lambda_k = \frac{2\pi k}{T}$ ,  $k=1, \dots, \frac{T-1}{2}$ , para testar esta hipótese.

**Tabela D.2** ANOVA na frequência  $\lambda_k$

Fonte	gl	SQ	QM	F
$\Omega(t)$	2	$N Y\hat{\cdot}(k) ^2$	$N Y\hat{\cdot}(k) ^2$	$QM\Omega(t)$
resíduo	$2(N-1)$	$\sum_n  Y_n\hat{\cdot}(k) - Y\hat{\cdot}(k) ^2$	$\sum_n  Y_n\hat{\cdot}(k) - Y\hat{\cdot}(k) ^2 / (N-1)$	$QMRes$
Total	$2N$	$\sum_n  Y_n\hat{\cdot}(k) ^2$		

onde:  $Y_n(k)$  é a transformada de Fourier da  $n$ -ésima série na frequência  $\lambda_k$  e  $Y.(k) = N^{-1} \sum_n Y_n(k)$ , média das transformadas na frequência  $\lambda_k$ .

Sob  $H_0$ ,

$$F(\lambda_k) = \frac{QM\Omega(k)}{QM\text{Res}(k)} \quad (\text{D.5.2})$$

tem distribuição  $F(2,2(N-1))$ .

### D.5.2 Modelo com Um Fator Fixo

Um modelo apropriado quando temos  $M$  tratamentos diferentes sendo aplicados é

$$Y_{lm} = \mu_{lm} + \Omega(t) + \Gamma_m(t) + \varepsilon_{lm}(t)$$

para  $l=1, \dots, L_m$ ,  $m=1, \dots, M$ ,  $N=L_1+\dots+L_M$ ,  $t=0, \dots, T-1$ ,

onde

$L_m$  é o número de séries no  $m$ -ésimo tratamento;

$\Omega(t)$  representa o sinal comum a todas as séries e é determinístico;

$\Gamma_m(t)$  representa o efeito do  $m$ -ésimo tratamento e é determinístico com a restrição

$$\sum_{m=1}^M L_m \Gamma_m(t) = 0 ;$$

$\varepsilon_{ln}(t)$  são os resíduos.

Podemos testar as hipóteses:

$$H_{01}: \Omega(t) = 0,$$

cuja rejeição implica na existência de similaridade entre todas as séries e

$$H_{02}: \Gamma_1(t) = \dots = \Gamma_M(t) = 0,$$

cuja rejeição implica na existência de diferenças entre os diferentes tratamentos.

O modelo pode ser reescrito em termos da transformada de Fourier e assim podemos testar as hipóteses através de uma ANOVAF (Tabela D.3) para cada frequência de Fourier.

**Tabela D.3** AnovaF na frequência  $\lambda_k$ 

Fonte	gl	SQ	QM	F
$\Omega(t)$	2	$N Y_{..}^{\wedge}(k) ^2$	$N Y_{..}^{\wedge}(k) ^2$	$QM\Omega / QMRes$
$\Gamma(t)$	$2(M-1)$	$\sum_m L_m  Y_{.m}^{\wedge}(k) - Y_{..}^{\wedge}(k) ^2$	$\sum_m L_m  Y_{.m}^{\wedge}(k) - Y_{..}^{\wedge}(k) ^2 / (M-1)$	$QM\Gamma / QMRes$
resíduo	$2(N-M)$	$\sum_m \sum_l  Y_{lm}^{\wedge}(k) - Y_{.m}^{\wedge}(k) ^2$	$\sum_m \sum_l  Y_{lm}^{\wedge}(k) - Y_{.m}^{\wedge}(k) ^2 / (N-1)$	
Total	$2N$	$\sum_m \sum_l  Y_{lm}^{\wedge}(k) ^2$		

onde:  $Y_{lm}^{\wedge}(k)$  é a transformada de Fourier da  $l$ -ésima série do  $m$ -ésimo tratamento na frequência  $\lambda_k$ ,

$$Y_{..}^{\wedge}(k) = N^{-1} \sum_m L_m Y_{.m}^{\wedge}(k), \text{ média geral das transformadas na frequência } \lambda_k$$

Sob  $H_{01}$ ,

$$F_1(\lambda_k) = \frac{QM\Omega(k)}{QMRes(k)} \quad (D.5.3)$$

tem distribuição  $F(2, 2(N-M))$  e sob  $H_{02}$ ,

$$F_2(\lambda_k) = \frac{QM\Gamma(k)}{QMRes(k)} \quad (D.5.4)$$

tem distribuição  $F(2(M-1), 2(N-M))$ .

Para maiores detalhes ver (Chiann,1993).

## **APÊNDICE E**

### **Programas**

Apresentamos, aqui, alguns programas que foram utilizados neste relatório. Os programas foram desenvolvidos em QuickBasic (versão 4.0) e os arquivos de entrada e saída estão no formato ASCII.

### **E.1 Programa SINAL.BAS**

Este programa calcula a estatística F para testar a hipótese

$$H_0: \Omega(t) = 0,$$

do modelo com sinal comum,

$$Y_n(t) = \mu_n + \Omega(t) + \varepsilon_n(t)$$

utilizando os coeficientes de Fourier da série com T pontos. O arquivo de entrada tem o seguinte formato: as  $(2n-1)$ -ésima e  $(2n)$ -ésima colunas correspondem aos coeficientes de Fourier da  $n$ -ésima série da amostra. O arquivo de saída contém os valores da estatística F em cada frequência. A listagem do programa é:

CLS

INPUT "O nome do arquivo de entrada: ", arq\$

INPUT "O número de séries a serem analisadas: ", N%

INPUT "O tamanho de cada arquivo: ", num%

{ número de frequências a serem analisadas, ou seja,  $T/2$  pontos}

INPUT "O nome do arquivo de saída: ", arqs\$

linha% = num%: coluna% = N% + 3

DIM f(linha%), x(linha%, coluna%), y(linha%, coluna%)

OPEN "I", #1, arq\$: OPEN "O", #2, arqs\$

{leitura dos dados}

FOR lin% = 1 TO num%

FOR col% = 1 TO N%

INPUT #1, x(lin%, col%): INPUT #1, y(lin%, col%)

NEXT

NEXT

FOR lin% = 1 TO num%

```

FOR col%=1 TO N%
    x(lin%,N%+1) = x(lin%,N%+1) + x(lin%,col%)
    y(lin%,N%+1) = y(lin%,N%+1) + y(lin%,col%)
{calcula soma dos coeficientes}

NEXT
x(lin%,N%+1) = x(lin%,N%+1) /N%
y(lin%,N%+1) = y(lin%,N%+1) /N%
{calcula a média dos cceficientes}

x(lin%,N%+2) = x(lin%,N%+1) ^ 2*N%
y(lin%,N%+2) = y(lin%,N%+1) ^ 2*N%
{calcula a soma de quadrados}

FOR col%=1 TO N%
    quadr1=(x(lin%,col%)-x(lin%,N%+1)) ^ 2
    quadr2=(y(lin%,col%)-y(lin%,N%+1)) ^ 2
    x(lin%,N%+3) = x(lin%,N%+3) + quadr1
    y(lin%,N%+2) = y(lin%,N%+3) + quadr2

NEXT
teste1= (x(lin%,N%+2) + y(lin%,N%+2))*(N%-1)
teste2=(x(lin%,N%+3) + y(lin%,N%+3))
testeF=teste1/teste2
f(lin%)=testeF

NEXT
FOR lin%=1 to num%
    PRINT #2, f(lin%)
NEXT
SYSTEM

```

## E.2 Programa ANOVAF.BAS

Este programa calcula as estatísticas F para testar as hipóteses

$$H_{01}: \Omega(t) = 0,$$

$$H_{02}: \Gamma_1(t) = \dots = \Gamma_M(t) = 0,$$

do modelo com um fator fixo,

$$Y_{lm} = \mu_{lm} + \Omega(t) + \Gamma_m(t) + \varepsilon_{lm}(t).$$

O arquivo de entrada tem o mesmo formato do anterior. Temos, aqui, dois arquivos de saída, uma para o teste do sinal comum e o outro para o teste do efeito de temperatura. A listagem do programa é

CLS

INPUT "Número de grupos: ", ng%

DIM arq\$(ng%), amo(ng%)

FOR a% = 1 TO ng%

PRINT "O nome do arquivo de entrada("; a%;") : ";:INPUT "", arq\$(a%)

INPUT "O número de séries de cada arquivo: ", amo(a%)

NEXT

INPUT "O tamanho de cada série : ", num%

INPUT "O nome do arquivo de saída(1): ", arq1\$

INPUT "O nome do arquivo de saída(2): ", arq2\$

linha% = num%: coluna% = 6:

DIM x(linha%,coluna%,ng%), y(linha%,coluna%,ng%)

DIM f(linha%,8)

FOR a% = 1 TO ng%

N% = N% + amo(a%)

CLOSE : OPEN "I", #1, arq\$(a%)

FOR lin% = 1 TO num%

FOR col% = 1 TO amo(a%)

INPUT #1, x(lin%, col% ,a%)

INPUT #1, y(lin%, col% ,a%)

NEXT

NEXT

NEXT

```

OPEN "O", #2, arq1$
OPEN "O", #3, arq2$
FOR a% =1 TO ng%
  FOR lin% = 1 TO num%
    FOR col% = 1 TO amo(a%)
      x(lin%, coluna%, a%) = x(lin%, coluna%, a%) + x(lin%, col%, a%)
      y(lin%, coluna%, a%) = y(lin%, coluna%, a%) + y(lin%, col%, a%)
    NEXT
    x(lin%, coluna%, a%) = x(lin%, coluna%, a%) / amo(a%)
    y(lin%, coluna%, a%) = y(lin%, coluna%, a%) / amo(a%)
    {média dos coeficientes}
  NEXT
NEXT
FOR lin% = 1 TO ng%
  FOR a% = 1 TO ng%
    f(lin%,1) = f(lin%,1) + (amo(a%) * (x(lin%, coluna%, a%)))
    f(lin%,2) = f(lin%,2) + (amo(a%) * (y(lin%, coluna%, a%)))
  NEXT
  f(lin%,1) = f(lin%,1) / N%
  f(lin%,2) = f(lin%,2) / N%
  {média geral}
FOR a% = 1 TO ng%
  f(lin%,3) = (amo(a%) * ((x(lin%, coluna%, a%) - f(lin%,1))^2))
  f(lin%,4) = (amo(a%) * ((y(lin%, coluna%, a%) - f(lin%,2))^2))
  {soma de quadrados de resíduos}
NEXT
FOR a% = 1 TO ng%
  FOR col% = 1 TO amo(a%)
    quadr1 = (x(lin%, col%, a%) - x(lin%, coluna%, a%))^2
    quadr2 = (y(lin%, col%, a%) - y(lin%, coluna%, a%))^2

```

$f(lin\%, 5) = f(lin\%, 5) + quadr1$   
 $f(lin\%, 6) = f(lin\%, 6) + quadr2$   
{soma de quadrados de temperatura}

NEXT

NEXT

$testef0 = ((f(lin\%, 1)^2) + f(lin\%, 2)^2) * N\%$   
{soma de quadrados para o sinal comum}  
 $testef1 = (f(lin\%, 3) + f(lin\%, 4)) / (ng\% - 1)$   
 $testef2 = (f(lin\%, 5) + f(lin\%, 6)) / (N\% - ng\%)$   
 $f(lin\%, 7) = testef1 / testef2$   
 $f(lin\%, 8) = testef0 / testef2$

NEXT

FOR lin% = 1 TO num%

PRINT #2, f(lin%,7)  
PRINT #3, f(lin%,8)

NEXT

SYSTEM

