

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS
ENERGÉTICAS E NUCLEARES**

**ESTUDO DAS DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE DA
RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA NO BRASIL**

ADALBERTO NUNES DE SIQUEIRA

RECIFE – PERNAMBUCO – BRASIL
FEVEREIRO – 2004

ADALBERTO NUNES DE SIQUEIRA

**ESTUDO DAS DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE DA
RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA NO BRASIL**

Dissertação submetida ao programa de Pós-graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares – PROTEN do Departamento de Energia Nuclear da Universidade Federal de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de Concentração: Fontes Renováveis de Energia.

ORIENTADOR: PROF. DR. CHIGUERU TIBA
CO-ORIENTADOR: PROF. DR. NAUM FRAIDENRAICH

RECIFE – PERNAMBUCO – BRASIL
FEVEREIRO – 2004

ESTUDO DAS DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE DA RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA NO BRASIL


Adalberto Nunes de Siqueira

APROVADO EM: 16.02.2004

ORIENTADOR : Prof. Dr. Chigueru Tiba

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Naum Fraidenraich

COMISSÃO EXAMINADORA:



Prof. Dr. Carlos Alberto Brayner de Oliveira Lira - DEN/UFPE



Profa. Dra. Maria Cristina Falcão Raposo - DE/UFPE



Profa. Dra. Olga de Castro Vilela - DEN/UFPE

Visto e permitida a impressão



Coordenador do PROTEN/DEN/UFPE

Aos meus pais, Antenor Rodrigues e Francisca

Nunes, exemplos de
dignidade e esperança

minha homenagem e
minha gratidão

À minha esposa Iraponira, e aos filhos
Felipe, Samantha e Suzanny, elos queridos
de afeição, encorajamento e compreensão.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, em especial ao Departamento de Energia Nuclear, pela oportunidade.

À Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU-STU REC – METROREC, em especial ao Departamento de Material Rodante – DEMAR, pela aceitação da flexibilização de nossa jornada de trabalho).

Ao Prof. Chigueru Tiba, pela orientação, pelo estímulo e amizade.

Ao Prof. Naum Fraidenaich, pelo apoio, confiança e amizade.

Aos Professores Carlos Brayner, Maria Cristina e Olga Vilela pelas valiosas sugestões.

À Professora Elielza Moura pela oportunidade de conhecer a importância dos trabalhos desenvolvidos pelo Grupo FAE (Fontes Alternativas de Energia), para o desenvolvimento de localidades do Semi-árido Nordestino (Projeto Xingó).

Aos Colegas Bráulio, Bione, Rinaldo, Milton, Sílvia, Gilmário, Carlos e Tito pelas valiosas sugestões, atenção e amizade.

A todos os integrantes do Grupo FAE, pelo estímulo e amizade.

A todos os amigos do DEN, pela atenção e convivência agradável durante a realização deste trabalho.

ESTUDO DAS DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE DA RADIAÇÃO SOLAR DIÁRIA NO BRASIL

Autor: Adalberto Nunes de Siqueira

Orientador: Prof. Dr. Chigueru Tiba

Co-Orientador: Prof. Dr. Naum Fraidenraich

RESUMO

A inserção sustentável de uma tecnologia inovadora como a solar, no mercado mundial, é conseqüência dentre outros fatores de um projeto bem elaborado resultado do conhecimento preciso do recurso solar disponível na localidade. Portanto, conhecer o potencial do recurso solar é pré-requisito para uma maior difusão e utilização desta nova tecnologia.

Os trabalhos publicados anteriormente, envolvendo a modelagem das distribuições de probabilidades da radiação solar diária, têm considerado somente conjuntos de localidades situadas no hemisfério norte, portanto a universalidade desses modelos devem ser verificadas.

Neste estudo foram analisadas a função densidade de probabilidade e a função de distribuição acumulada da radiação solar diária de 24 localidades que compreendem uma extensa região tropical e intertropical do Brasil, situadas entre 1:27 S e 30:01 S de latitude.

Com relação ao comportamento dos modelos para as localidades brasileiras, observou-se que de uma maneira geral, o modelo de Saunier foi o que apresentou melhores resultados, exceto para as localidades de clima temperado onde os melhores resultados foram estabelecidos pelo modelo proposto por Hollands e Huget.

Além de identificar dentre os modelos propostos na literatura aquele que melhor se ajustou a cada localidade, este estudo ratifica as conclusões obtidas anteriormente por Saunier no

que diz respeito ao caráter local do comportamento das distribuições de probabilidade, na medida que foram observadas diferenças significativas em relação às análises realizadas no hemisfério Norte.

STUDY ON PROBABILITY DISTRIBUTION OF DAILY SOLAR RADIATION IN BRAZIL

ABSTRACT

The insertion of sustainable technical innovations, such as solar technology, in the world market, is a consequence, among other factors, of a well elaborated project resulting from accurate knowledge of available solar resource in the locality. Therefore, knowing the potential of solar resource is a prerequisite for greater diffusion and use of this new technology.

Previously published works involving the modeling of the distribution bi probability distribution of daily solar radiation have only considered groups of localities situated in the Northern Hemisphere, therefore, the universality of those models should be verified. Previously published works involving the modelling of the distribution bi probality distribution of daily solar radiation have only considered groups of localities situated in the Northern Hemisphere, therefore, the universality of those models should be verified.

In this work the probability density function and the accumulated distribution function of daily radiation in 24 localities were analysed, which comprised of extensive tropical and intertropical regions in Brazil, situated between latitude 1.27° South and latitude 30.01° South.

Regarding the behaviour of the models for the Brazilian localities, it is observed in a general way that the Saunier model presented better results, except in temperate climate localities where the best results were established by the model proposed by Hollands and Huget.

Besides identifying among the proposed models in literature those that are better adjusted to each locality, this study confirms the previously conclusions obtained by Saunier which concern the local characteristic behaviour of the probability distribution, while significant differences were observed regarding the analyses carried out in the Northern Hemisphere.

SUMÁRIO

| | Página |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| RESUMO | VI |
| ABSTRACT | VIII |
| INTRODUÇÃO | 17 |
| OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO | 19 |
| 1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DOS MODELOS ESTATÍSTICOS DA RADIAÇÃO SOLAR..... | 20 |
| 1.1 AS CURVAS GENERALIZADAS DE LIU E JORDAN | 20 |
| 1-1.2 Construção das curvas características | 21 |
| 1.2 O MODELO DE P. BENDT, M. COLLARES PEREIRA E A. RABL..... | 24 |
| 1.3 O MODELO DE HOLLANDS E HUGET..... | 29 |
| 1.4 O MODELO DE SAUNIER | 31 |
| 1.5 O MODELO DE SARATH BABU | 33 |
| 1.5.1 Desenvolvimento do modelo | 35 |
| 2 MÉTODO | 41 |
| 2.1 BANCO DE DADOS | 42 |
| 2.1.1 Medidas relativas ao Índice médio de transmitância atmosférica ($\overline{K_t}$) das localidades estudadas | 45 |
| 2.2 ÍNDICE DE TRANSMITÂNCIA ATMOSFÉRICA - K_t | 47 |
| 2.3 CÁLCULO DOS PARÂMETROS UTILIZADOS PELOS MODELOS..... | 48 |
| 2.3.1 Valores extremos de K_t | 48 |
| 2.4 COMPARAÇÃO DOS MODELOS | 49 |

| | | |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.4.1 | A função distribuição acumulada $F(x)$ | 49 |
| 2.4.2 | A função densidade de probabilidade $f(x)$ | 50 |
| 3. | COMPARAÇÃO DOS DADOS ANALISADOS EM RELAÇÃO AOS MODELOS ESTUDADOS..... | 51 |
| 3.1 | PARÂMETROS DOS MODELOS..... | 51 |
| 3.2 | COMPARAÇÃO DOS DADOS EXPERIMENTAIS COM OS MODELOS PARA $F(K_T)$ | 56 |
| 3.3 | COMPARAÇÃO DOS DADOS EXPERIMENTAIS COM OS MODELOS PARA $f(K_t)$ | 64 |
| 4. | CONCLUSÕES..... | 71 |
| 5. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS : | 73 |
| 6. | ANEXOS..... | 75 |
| | ANEXO A..... | 75 |
| | ANEXO B..... | 101 |
| | ANEXO C..... | 108 |

LISTA DE FIGURAS

| | | Página |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Figura 01 | Curvas características de Liu e Jordan para $\bar{K}_t = 0,3$ | 21 |
| Figura 02 | Curvas características de Liu e Jordan para $\bar{K}_t = 0,5$ | 22 |
| Figura 03 | Curvas características de Liu e Jordan para $\bar{K}_t = 0,7$ | 22 |
| Figura 04 | As curvas Generalizadas de Liu e Jordan | 23 |
| Figura 05 | Curvas de distribuição da probabilidade acumulada e suas variações sazonais | 25 |
| Figura 06 | Curvas de distribuição da probabilidade acumulada e suas variações sazonais | 26 |
| Figura 07 | Comparação entre as curvas obtidas por Bendt et al. e Liu e Jordan | 27 |
| Figura 08 | A função densidade de probabilidade medida para Campo Grande e a prevista pelo modelo de Bendt | 28 |
| Figura 09 | Função densidade de probabilidade conforme o modelo de Hollands e Huget | 30 |
| Figura 10 | Ajuste dos modelos propostos por Bendt, Hollands e Saunier aos dados experimentais de Bangkok | 33 |
| Figura 11 | Desempenho dos modelos propostos para localidades com $\bar{K}_t = 0,5$.. | 34 |
| Figura 12 | Desempenho dos modelos propostos para localidades com $\bar{K}_t = 0,7$.. | 34 |
| Figura 13 | As curvas generalizadas de Sarat Babu | 36 |
| Figura 14 | Representação das localidades de acordo com as unidades climáticas brasileiras | 44 |

| | | |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 15 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Belém | 58 |
| Figura 16 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Boa Vista | 59 |
| Figura 17 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Petrolina | 60 |
| Figura 18 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Salvador | 61 |
| Figura 19 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Cuiabá | 62 |
| Figura 20 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Porto Alegre | 63 |
| Figura 21 | Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Belém | 65 |
| Figura 22 | Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Boa Vista | 66 |
| Figura 23 | Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Petrolina | 67 |
| Figura 24 | Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Salvador | 68 |
| Figura 25 | Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Cuiabá | 69 |
| Figura 26 | Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Porto Alegre | 70 |

LISTA DE TABELAS

| | | Página |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Tabela 1 | Localidades selecionadas para testar a eficiência do modelo de Sarath Babu | 38 |
| Tabela 2 | Resumo das características dos modelos | 39 |
| Tabela 3 | Localização das estações piranométricas cujos dados de irradiação solar diária foram utilizados neste estudo | 43 |
| Tabela 4 | Medidas relativas ao \bar{K}_t das localidades estudadas | 46 |
| Tabela 5 | Parâmetros utilizados pelos modelos | 48 |
| Tabela 6 | Valores extremos de K_t utilizados para estimar $f(X)$ e $F(X)$ | 49 |
| Tabela 7 | Parâmetros utilizados para o modelo de Hollands | 52 |
| Tabela 8 | Parâmetros utilizados para o modelo de Bendt | 53 |
| Tabela 9 | Parâmetros utilizados para o modelo de Saunier | 54 |
| Tabela 10 | Parâmetros utilizados para o modelo de Sarath Babu | 55 |
| Tabela 11 | Localidades representativas da climatologia brasileira | 56 |
| Tabela 12 | Desvio padrão ponderado (DPP) em relação a $F(X)$ | 57 |
| Tabela 13 | Razão dos desvios (RD) e coeficiente de massa residual (CMR) | 58 |

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

| | |
|-------------------|----------------------------------------------------------------|
| FV | Foto Voltaico |
| K_t | Índice de transmitância atmosférica (claridade) |
| \bar{K}_t | Índice médio de transmitância atmosférica (claridade) |
| $K_{t\max}$ | Índice máximo de transmitância atmosférica (claridade) |
| $K_{t\min}$ | Índice mínimo de transmitância atmosférica (claridade) |
| $F(X)$ | Função acumulada de probabilidade |
| $f(X)$ | Função densidade de probabilidade |
| H_h | Radiação diária total, no plano horizontal |
| H_o | Radiação solar diária extra terrestre , na horizontal |
| C | Coefficiente da função densidade de probabilidade generalizada |
| γ | Termo constante da função densidade de probabilidade |
| λ | Parâmetro da função densidade de probabilidade generalizada |
| ϑ | Coefficiente da função densidade de probabilidade generalizada |
| X | Variável que normaliza K_t em função de \bar{K}_t . |
| \bar{X} | Valor médio da variável X |
| DPP | Desvio Padrão Ponderado |
| \hat{K}_t | Índice de claridade solar Normalizado |
| $\hat{\bar{K}}_t$ | Índice médio de claridade solar Normalizado |
| ϕ | Latitude |

| | |
|------------|--------------------------------------------------------------------|
| δ_m | Declinação média mensal |
| I_0 | Constante solar cujo valor é 1367 W / m^2 |
| N | Número de dias contados a partir de 1º de janeiro |
| h_s | Hora do por do sol |
| L | Latitude |
| δ | Declinação (distância angular do raio de sol e o plano do equador) |

INTRODUÇÃO

No processo de penetração no mercado de uma tecnologia inovadora como a Solar, a reprodução ampliada e sustentada do mesmo, depende fortemente da economicidade e confiabilidade dos sistemas solares demonstrativos (seja em escala restrita ou ampla) instalados. O binômio economicidade e confiabilidade de um sistema é a consequência de um projeto bem elaborado resultado de um conhecimento preciso do recurso solar disponível. Portanto, conhecer o recurso solar com precisão, senão uma necessidade, é um imperativo para uma maior difusão e utilização da Energia Solar (TIBA, 2001a).

O conhecimento das propriedades estatísticas relativas a função densidade de probabilidade ($f(x)$) e a função de distribuição acumulada ($F(x)$) da radiação solar total incidente na superfície terrestre é necessário para o projeto e avaliação do desempenho de sistemas energéticos baseados em energia solar. O grau de detalhamento das informações necessárias para realização de um projeto pode variar consideravelmente.

Assim, por exemplo, um sistema de aquecimento de água doméstico requer para o seu projeto somente o conhecimento da radiação solar diária média mensal. Uma estação remota de telecomunicações (repetidora de microondas) suprida por um sistema FV requer tipicamente uma probabilidade de perda de carga de 0,001. Nesta circunstância os cálculos

para o projeto do sistema necessitarão de valores médios horários da radiação solar, além do comportamento seqüencial destes valores.

A estimativa do desempenho médio de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos, relativa a energia útil produzida em períodos longos de tempo, pode ser estudada mediante o método da utilizabilidade proposto por Klein (1978) e utilizado para avaliar a performance de sistemas fotovoltaicos de bombeamento (FRAIDENRAICH & COSTA (1988); LOXSOM & DURONGKAVEROJ (1994) e FRAIDENRAICH & VILELA, 2000). Um dos parâmetros centrais considerados pelo método é a fração da radiação solar cujos valores são superiores a um nível mínimo de radiação (nível crítico), a partir do qual o sistema entra em funcionamento. Este parâmetro está intrinsecamente ligado à função de probabilidade acumulada, $F(x)$ da radiação solar incidente. Daí a necessidade de um estudo minucioso desta função.

Outro aspecto a considerar é que os trabalhos envolvendo a análise de séries temporais da radiação solar têm considerado tipicamente localidades situadas no Hemisfério Norte em latitudes maiores que 30° . Dentre os poucos trabalhos que consideram um número maior de locais tropicais pode-se destacar o de GORDON & ZARMI (1983), que apresenta e analisa 08 locais situados entre $26,3^{\circ}$ N e $12,4^{\circ}$ S, dos quais somente um local encontra-se no Hemisfério Sul, e o de SARATH BABU & SATYAMURTY (1987), que estudaram dados referentes à 70 localidades pertencentes a uma ampla faixa de latitude 8° N a 64° N, das quais 21 estão abaixo de 30° N. Cabe ainda ressaltar que existem inúmeros trabalhos que relatam a análise de dados em um único local (JURADO et al., 1995) .

Um dos trabalhos pioneiros no Brasil, que estudou as características da distribuição acumulada de probabilidade $F(X)$, da radiação solar foi realizado por MACAGNAN (1989) que analisou o ajuste dos dados experimentais referente a 11 localidades ao modelo de Holands e Huget .

Neste trabalho pretende-se analisar 24 localidades do Hemisfério Sul, situados na região tropical e intertropical do Brasil compreendida entre a linha do Equador e 31° S de latitude. Além da obtenção das propriedades estatísticas relativas à função densidade de probabilidade $f(x)$ e a função acumulada de probabilidade $F(x)$, também pretende-se verificar e/ou ratificar o caráter não universal dos modelos estatísticos da radiação solar existentes .

OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO

Analisar as propriedades estatísticas relativas a função densidade de probabilidade e a função de distribuição acumulada da radiação solar para 24 localidades brasileiras e escolher qual dos modelos propostos na literatura melhor se ajusta aos dados de cada localidade .

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DOS MODELOS ESTATÍSTICOS DA RADIAÇÃO SOLAR

1.1 As curvas generalizadas de Liu e Jordan

As primeiras investigações das correlações envolvendo a radiação solar se devem a Liu e Jordan , que utilizaram como base de dados os índices de radiação solar diária total no plano horizontal, coletados regularmente entre os anos 1950 e 1958, em 98 localidades situadas nos Estados Unidos e no Canadá, (LIU & JORDAN, 1960).

Com base nestes dados eles estudaram a relação entre as componentes da radiação solar, além de analisar a distribuição estatística da radiação total na superfície horizontal .

A hipótese básica proposta por Liu e Jordan , é que a função de distribuição acumulada de K_t , $F(K_t)$ depende apenas do índice diário médio mensal (\bar{K}_t) e não da localidade ou da época do ano, onde K_t é denominado índice de transmitância atmosférica (claridade), e é definido como a razão entre a radiação diária total, e a radiação solar diária extra terrestre, ambas no plano da horizontal, $K_t = \frac{H_h}{H_0}$, que será melhor detalhado no

capítulo 2.

1-1.2 Construção das curvas características

No estudo da distribuição acumulada da radiação total na superfície horizontal, Liu e Jordan utilizaram os dados referentes a 27 localidades muito distantes uma das outras, selecionadas dentre as 98 iniciais, onde para cada localidade foi calculado o índice médio de transmitância, \bar{K}_t .

Após o cálculo do K_t para cada localidade, foram construídas as curvas referentes à função distribuição de probabilidade acumulada do K_t , $F(K_t)$. Posteriormente essas curvas foram agrupadas de acordo com os valores médios de K_t , Figuras 1, 2 e 3.

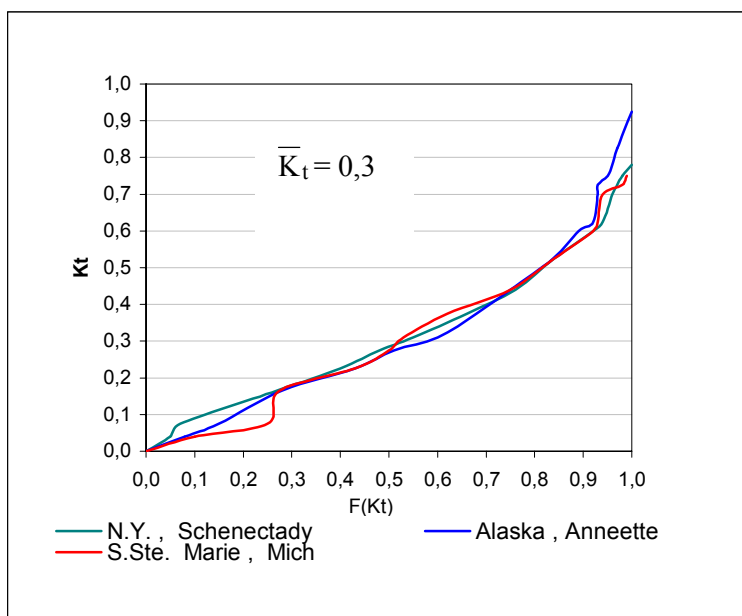


Figura 1 - Curvas características de Liu e Jordan para $\bar{K}_t = 0,3$.

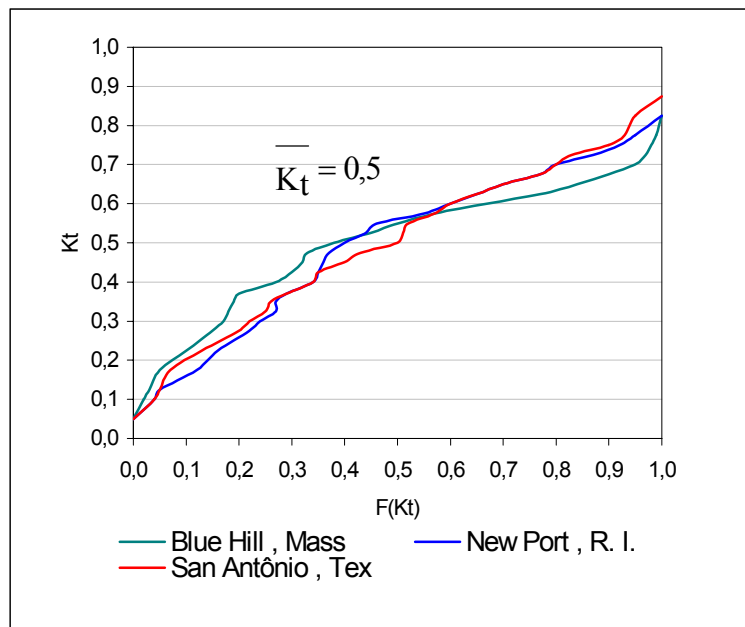


Figura 2 - Curvas características de Liu e Jordan para $\bar{K}_t = 0,5$.

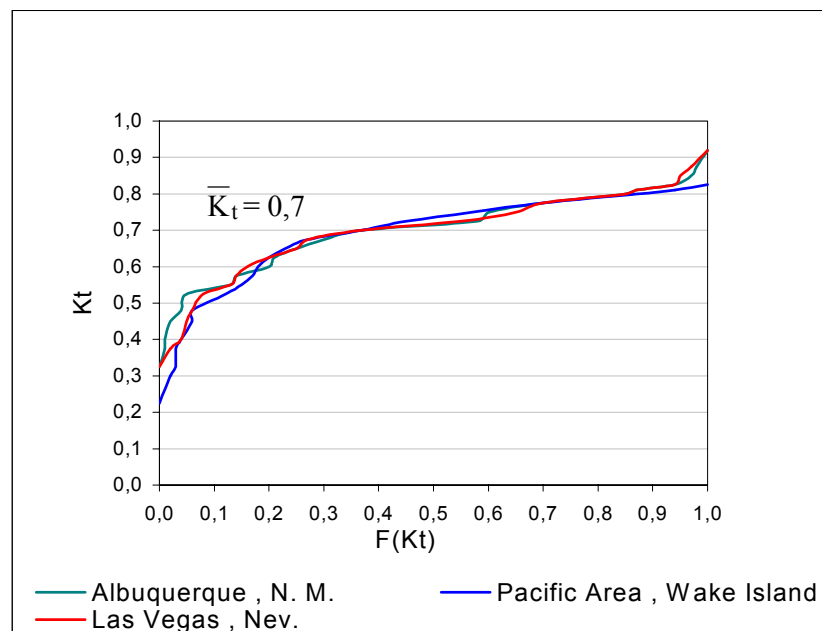


Figura 3 - Curvas características de Liu e Jordan para $\bar{K}_t = 0,7$.

As curvas pertencentes a cada grupo, quando comparadas mostraram que a diferença entre elas não eram significativas, e até mesmo desprezíveis para muitas aplicações de ordem prática por exemplo (projetos de engenharia).

Também o fato da grande similaridade para localidades distantes e com diferentes latitudes, indicam que a correlação entre as curvas do K_t e o \bar{K}_t não precisava ser limitada a estas localidades, ou seja que poderia ser “universalizada”.

Construíram então as curvas generalizadas dos K_t mensais correspondentes aos \bar{K}_t iguais a 0,3 ; 0,4 ; 0,5 ; 0,6 e 0,7, que poderiam ser utilizadas para a função distribuição acumulada da radiação diária total $F(K_t, \bar{K}_t)$, quando a média mensal da radiação diária total fosse conhecida, Figura 4.

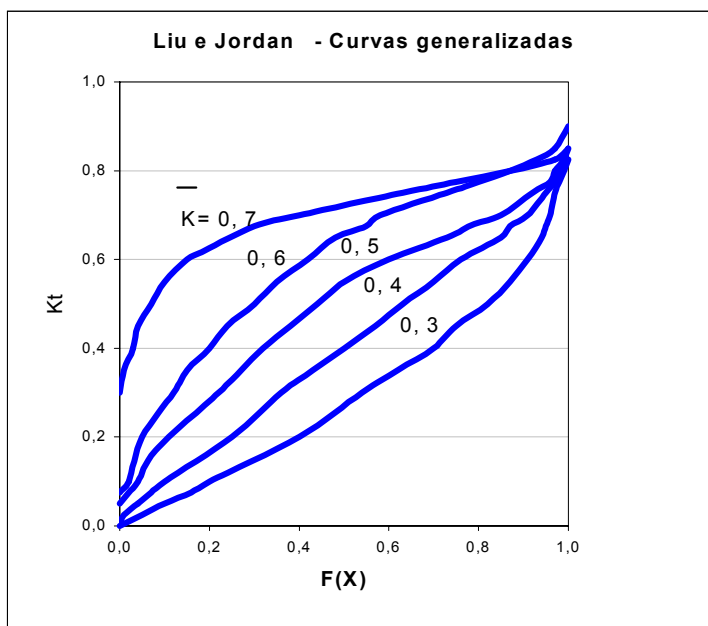


Figura 4 - As curvas generalizadas de Liu e Jordan.

Uma vez conhecida a função de distribuição acumulada $F(K_t, \bar{K}_t)$, através da sua derivada de primeira ordem pode-se encontrar a função densidade de probabilidade da radiação solar diária total $f(K_t, \bar{K}_t)$.

Apesar deste estudo não apresentar uma expressão analítica para estimar

$F(K_t, \bar{K}_t)$, a proposta da independência desta distribuição em relação à localidade e a época do ano, teve fundamental importância no desenvolvimento de novos trabalhos no campo da estimativa de características da radiação solar.

A necessidade de estimativas, cada vez mais precisas, do K_t motivou os cientistas a desenvolverem novos modelos que passaram a considerar as influências climáticas (pelo menos nas zonas temperadas) do $K_{t\max}$ e do $K_{t\min}$, além do \bar{K}_t no comportamento da função de distribuição acumulada de K_t . A seguir uma breve descrição desta evolução será apresentada.

1.2 O modelo de P. Bendt, M. Collares Pereira e A. Rabl

Passados 20 anos do trabalho pioneiro de Liu e Jordan, os pesquisadores P. Bendt, M. Collares Pereira e A. Rabl, apresentaram uma expressão analítica capaz de estimar $F(K_t)$, onde $F(K_t)$ é a fração do tempo em que a claridade solar é menor que K_t . Conforme os fundamentos desenvolvidos por Liu e Jordan esta fração do tempo poderia ser correlacionada a um simples parâmetro, a média mensal do índice de claridade (\bar{K}_t). A investigação foi baseada em medidas de valores da irradiação total diária hemisférica no plano horizontal, proveniente de 90 localidades dos Estados Unidos, diferentes das estudadas por Liu e Jordan, com aproximadamente 20 anos de observações (BENDT et al., 1981).

Análise das curvas empíricas:

Após o cálculo do K_t , e uma vez verificado que K_t se encontrava dentro dos limites de $K_{t\min} = 0,05$ e $K_{t\max} = 0,8$, os dados correspondentes foram selecionados para

construção das curvas da distribuição acumulada em função do \bar{K}_t . Construíram-se então curvas para $\bar{K}_t = 0,3 ; 0,4 ; 0,5 ; 0,6$ e $0,7$.

Para testar a variação sazonal os dados foram separados em três grupos de acordo com as estações climáticas do ano, nesse hemisfério.

- Verão (maio, junho, julho e agosto)
- Primavera e Outono (março, abril, setembro e outubro)
- Inverno (novembro, dezembro, janeiro, fevereiro)

Os resultados estão apresentados graficamente com as curvas classificadas de acordo com o \bar{K}_t e com a sazonalidade, conforme podem ser vistas nas Figuras 5 e 6.

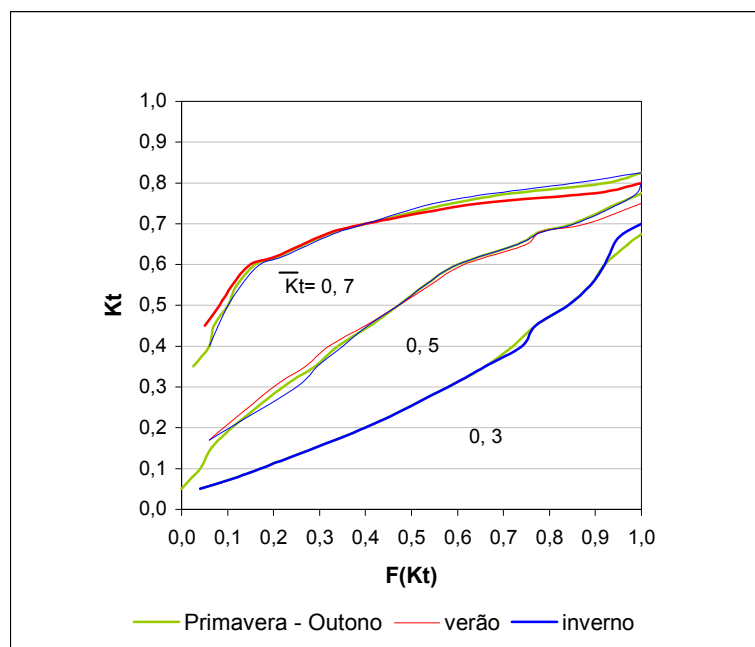


Figura 5 - Curvas de distribuição da probabilidade acumulada e suas variações sazonais para $\bar{K}_t = 0,3; 0,5$ e $0,7$.

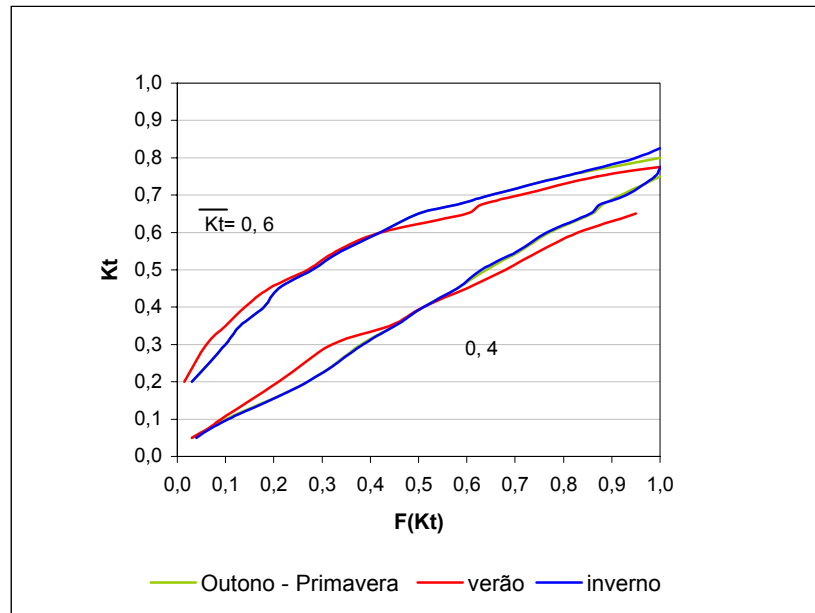


Figura 6 - Curvas de distribuição da probabilidade acumulada e suas variações sazonais para $\bar{K}_t = 0,4$ e $0,6$.

Nas figuras 5 e 6 o desvio individual de cada curva foi estudado considerando um desvio padrão para cada lado do valor médio de $F(K_t)$, verificando que estes desvios se sobrepunham às variações sazonais.

Comparando $F(K_t)$ com as curvas obtidas por Liu e Jordan, verificou-se uma boa concordância, exceto para valores extremos de K_t , conforme pode ser visto na figura 7

O modelo proposto por Bendt

$$f(K_t) = C \exp(\gamma K_t) \quad (1)$$

e

$$F(K_t, \bar{K}_t) = \frac{\exp(\gamma K_{t \min}) - \exp(\gamma K_t)}{\exp(\gamma K_{t \min}) - \exp(\gamma K_{t \max})} \quad (2)$$

Onde : C e γ são obtidos através de expressões auxiliares em função de \bar{K}_t

$$K_{t\min} = 0,05 \quad \text{e} \quad K_{t\max} = 0,80.$$

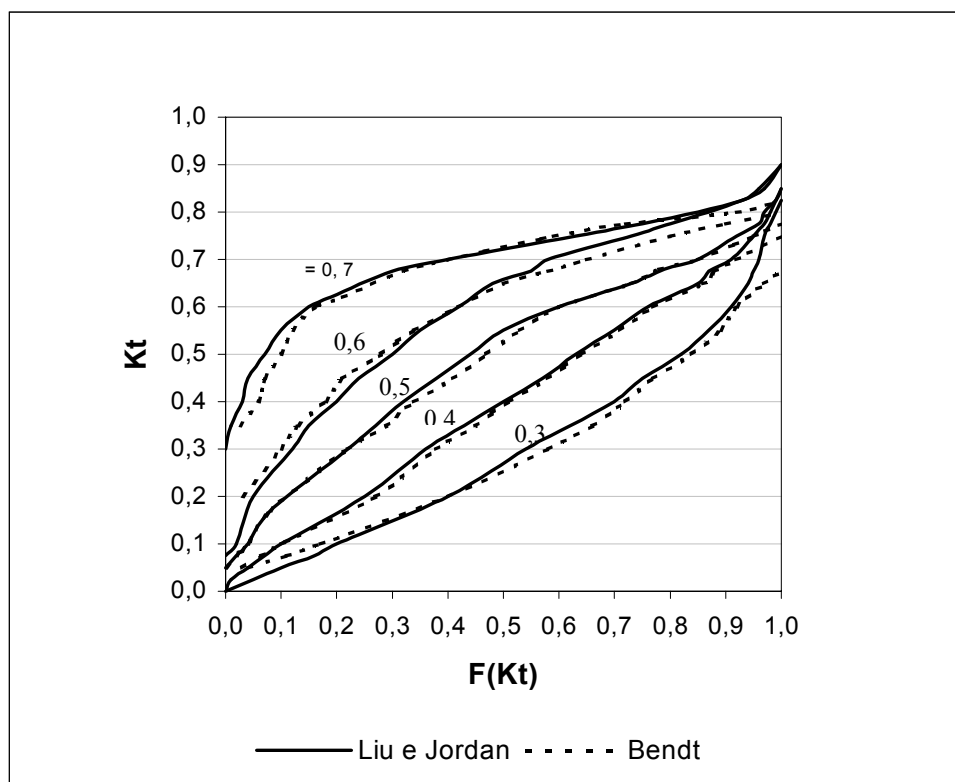


Figura 7 – Comparação entre as curvas obtidas por Bendt et al., e Liu e Jordan para valores de \bar{K}_t igual a 0,3; 0,4; 0,5; 0,6 e 0,7.

Considerações sobre o modelo

O modelo apresenta um bom ajuste com relação às curvas originais de Liu e Jordan. Porém, a expressão analítica proposta para $f(K_t)$ propõe um crescimento exponencial da probabilidade em relação ao K_t e estima valores não nulos para a região onde K_t se aproxima de zero, o que contrasta com os valores observados na prática, pois $f(K_t)$ não é máximo para o maior valor de K_t e $f(K_t)$ deve ser nula para $K_t = 0$, conforme pode

ser visto na figura 8.

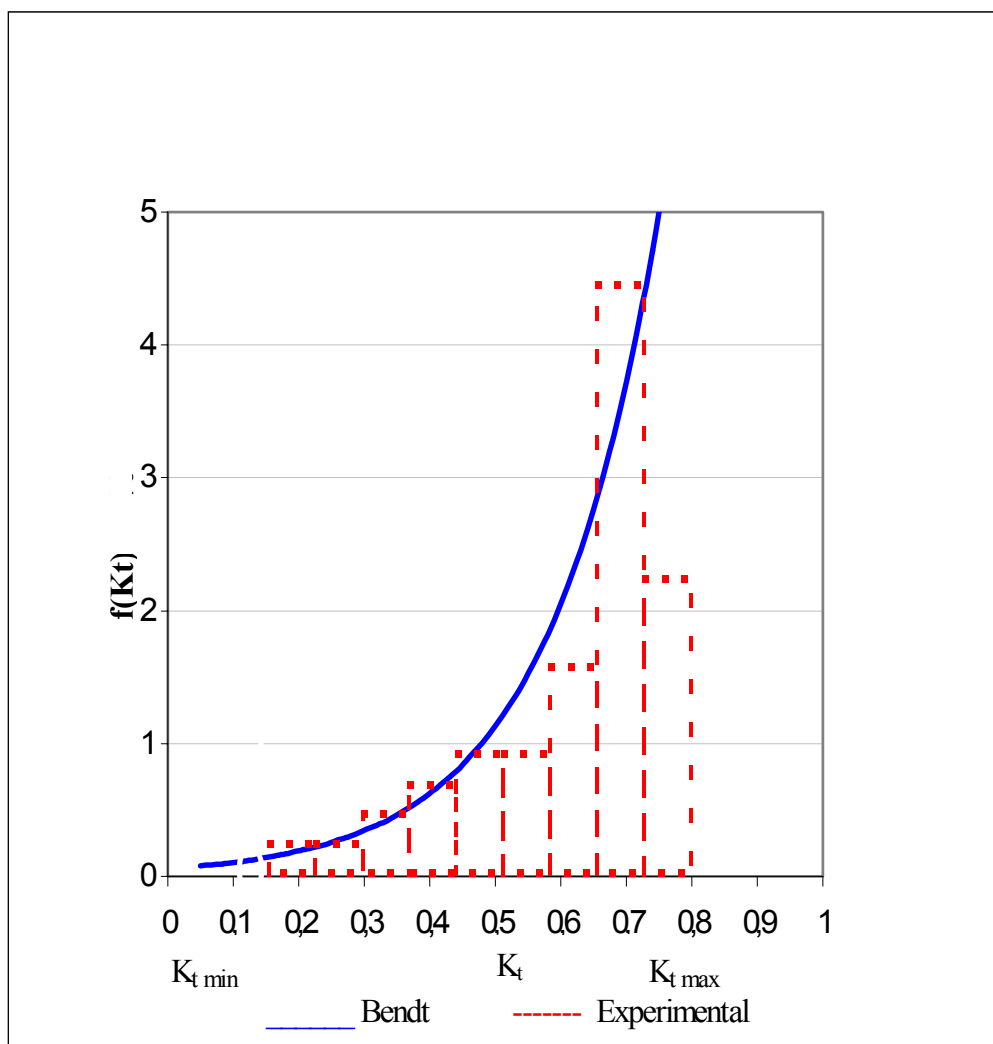


Figura 8 - A função densidade de probabilidade para os dados experimentais de Campo Grande e a prevista pelo modelo de Bendt.

O ajuste da função de distribuição acumulada relativa a este modelo pode ser melhorado introduzindo uma expressão empírica para estimar $K_{t \max}$ em função de \bar{K}_t , proposta por (HOLLANDS & HUGET, 1982), de acordo com o que segue.

$$K_{t \max} = 0,6113 + 0,267\bar{K}_t - 11,9(\bar{K}_t - 0,75)^8 \quad (3)$$

1.3 O modelo de Hollands e Huget

Após desenharem as curvas da distribuição acumulada de 27 localidades dos Estados Unidos e Canadá em função do índice de transmitância médio mensal (\bar{K}_t), Hollands e Huget (1982), propuseram a utilização da distribuição de probabilidade do tipo Gama modificada (ABRAMOWITZ & STEGUN, 1972), visto que foi a que melhor se ajustou aos dados diferenciados da distribuição acumulada proposta inicialmente por Liu e Jordan .

$$F(K_t, \bar{K}_t) = \frac{C}{K_{t\max} \lambda \gamma} [e^{\lambda K_t} (1 - \gamma K_t) - 1] \quad (4)$$

onde :

$K_{t\max}$ = Constante universal cujo valor é 0,864 e que permite que a equação se ajuste da melhor forma possível às curvas de Liu e Jordan .

$$\lambda = \frac{(29 - 17,519 \exp(1,31189) - 1062 \exp(-5,04629))}{K_{t\max}} \quad (5)$$

$$\gamma = K_{t\max} / (K_{t\max} - \bar{K}_t) \quad (6)$$

$$C = \lambda^2 K_{t\max} / (e^{\lambda K_{t\max}} - 1 - \lambda K_{t\max}) \quad (7)$$

A função densidade da Gama modificada é representada pela expressão

$$f(K_t) = C[(K_{t\max} - K_t) / K_{t\max}] \exp(\gamma K_t) \quad (8)$$

onde:

$$\gamma = \lambda / (1 + (\lambda K_{t \max})) \quad (9)$$

A representação gráfica das funções $f(K_t)$, para as 27 localidades estudadas pode ser vista na Figura 9.

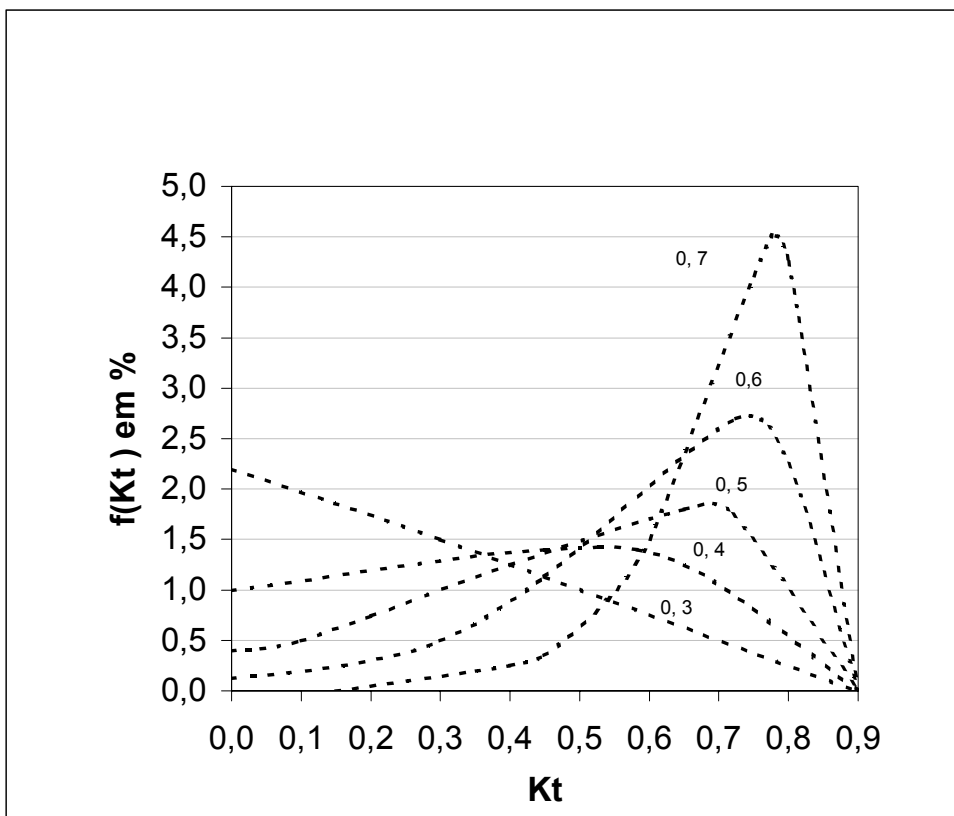


Figura 9 - Função densidade de probabilidade conforme o modelo de Hollands e Huget, para diversos valores do parâmetro \bar{K}_t .

Considerações sobre o modelo

A função densidade de probabilidade, $f(K_t)$ não sofre mais um crescimento exponencial em relação ao K_t , porém o modelo ainda estima valores não nulos de probabilidade, à medida em que K_t se aproxima de zero, e é parametrizado $K_{t \min} = 0$ e

$$K_{t\max} = 0,864.$$

1.4 O modelo de Saunier

SAUNIER et al., (1987) observaram que as curvas generalizadas, propostas por Liu e Jordan, não apresentavam um bom ajuste para a função distribuição acumulada em localidades tropicais. Mesmo nessas condições a função densidade de probabilidade proposta por Bendt para estimar características da radiação solar de localidades da América do Norte, vinha sendo utilizada para localidades tropicais. Assim, a sua utilização em locais tropicais requeria um “ajuste” para os valores máximos do índice de transmitância atmosférica (K_t). No entanto esta função não apresentava um bom ajuste para valores elevados de radiação.

Após a realização de estudos utilizando o banco de dados referente a localidades tropicais de climas secos, desérticos e úmidos quentes com latitudes variáveis entre 14°N e 32°N, os pesquisadores sugeriram uma correção ao modelo proposto por Hollands e Huget.

Na função proposta, escolheram uma parametrização através da razão entre a média mensal do índice de transmitância atmosférica \overline{K}_t e o índice de transmitância máxima $K_{t\max}$.

Expressões propostas:

$$F(X, \overline{X}) = C(X - X^2)e^{\gamma X} \quad (10)$$

onde:

$$X = \overline{K}_t / K_{t\max} \quad (11)$$

$$\bar{X} = \frac{e^\gamma(\gamma^2 - 4\gamma + 6) - 2\gamma - 6}{\gamma[e^\gamma(\gamma - 2) + (\gamma + 2)]} \quad (12)$$

$$C = \frac{\gamma^3}{e^\gamma(\gamma - 2) + (\gamma + 2)} \quad (13)$$

$$DPP = \left\{ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [X_i \{F(X_{ti}, \bar{X}_t) \text{ calculada} - F(X_{ti}, \bar{X}_t) \text{ dados}\}]^2 \right\}^{1/2} \quad (14)$$

Sendo: $K_{t \min} = 0,05$ e $K_{t \max}$ deve assumir o valor que minimiza o desvio padrão ponderado (DPP) possibilitando um melhor ajuste do modelo aos dados experimentais. Esta medida de variação (DPP), dá maior importância às regiões onde os valores de X_i são mais elevados, uma vez que para a engenharia solar estes desvios têm maior importância nas regiões onde a quantidade de energia coletada é maior.

Considerações sobre o modelo

A função densidade de probabilidade proposta por Saunier estima valores nulos para $K_t = 0$. Além disso, o modelo apresentou um ajuste que mais se aproxima da curva experimental para a função densidade de probabilidade, quando comparado com os modelos apresentados anteriormente, conforme pode ser constatado na figura 10.

O modelo não apresenta um bom ajuste para $f(X)$, em relação aos dados experimentais.

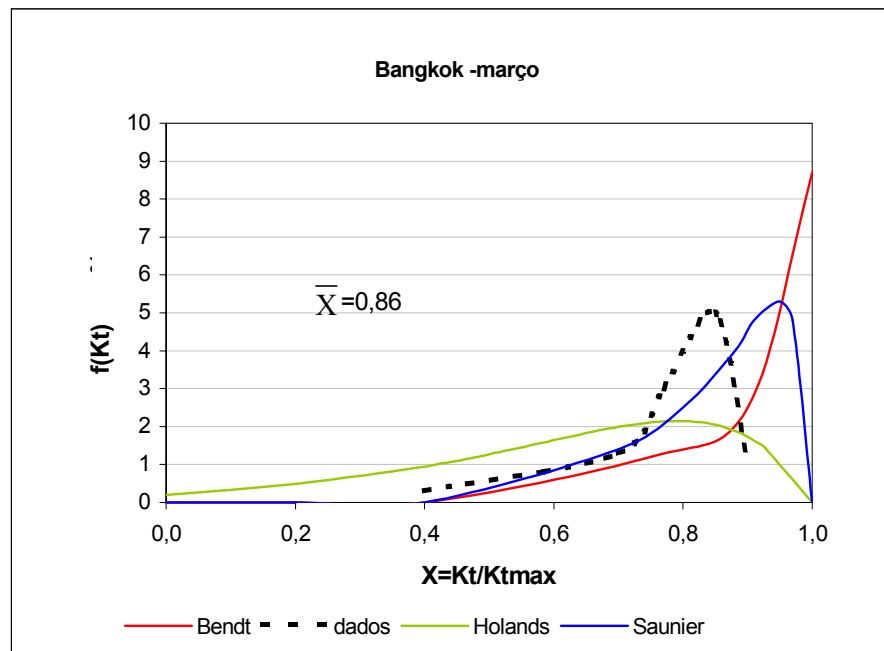


Figura 10 - Ajuste dos modelos propostos por Bendt, Hollands e Saunier aos dados experimentais de Bangkok.

1.5 O modelo de Sarath Babu

Em 1998 os cientistas K. Sarath Babu e V.V. Satyamurty, do Instituto Indiano de Tecnologia (Babu & Satyamurty, 1987), decidiram estudar as influências dos valores extremos de K_t , no comportamento de algumas características da radiação solar analisando valores de K_t normalizados por K_{tmax} e K_{tmin} .

O novo desafio seria o de encontrar um modelo que apresentasse um bom ajuste para vários tipos de climas (modelo universal), pois os anteriores não apresentavam o mesmo desempenho para localidades onde os índices mínimos de transmitância K_{tmin} apresentavam diferenças significativas, apesar de possuírem o mesmo \bar{K}_t .

O comportamento do desempenho dos modelos para quatro localidades agrupadas de acordo com o índice médio de transmitância atmosférica (\bar{K}_t) podem ser verificados nas

figuras 11 e 12.

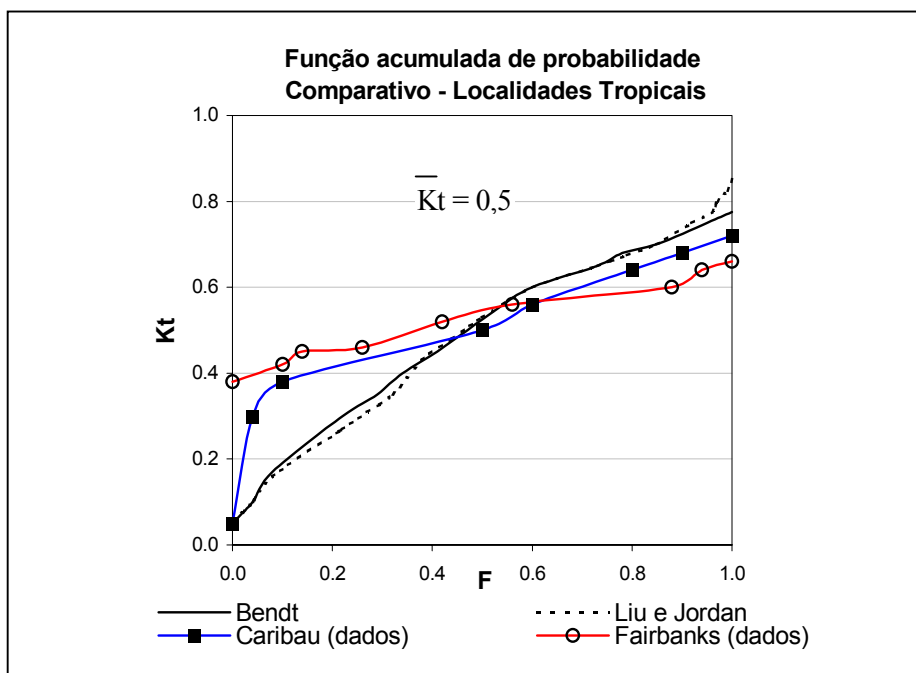


Figura 11 - Desempenho dos modelos propostos para localidades com $\bar{K}_t = 0,5$.

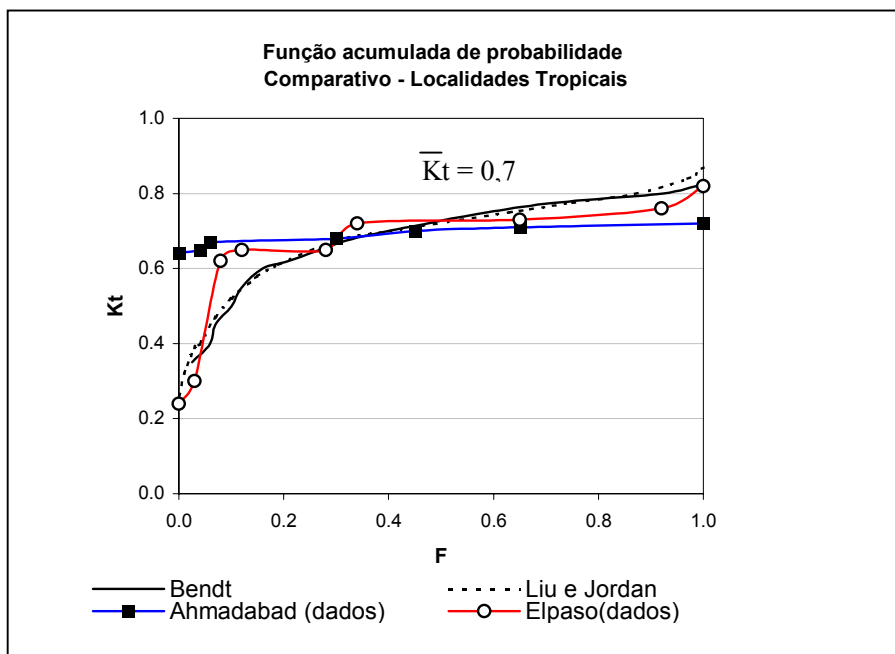


Figura 12 - Desempenho dos modelos propostos para localidades com $\bar{K}_t = 0,7$.

1.5.1 Desenvolvimento do modelo

Após realização de estudos fundamentados em dados referentes a 70 localidades, pertencentes a uma ampla faixa de latitude 8°N a 64°N, os pesquisadores propuseram um modelo que normaliza o índice de transmitância atmosférica (\hat{K}_t) e o índice médio de transmitância atmosférica ($\bar{\hat{K}}_t$), que podem ser calculados através das seguintes equações:

$$\hat{K}_t = \frac{K_t - K_{t \min}}{K_{t \max} - K_{t \min}} \quad (15)$$

$$\bar{\hat{K}}_t = \frac{\bar{K}_t - K_{t \min}}{K_{t \max} - K_{t \min}} \quad (16)$$

Após plotarem a representação gráfica da função distribuição acumulada ($F(K_t)$) de acordo com os valores de \hat{K}_t , para os dados experimentais agrupados em função do $\bar{\hat{K}}_t$, utilizando o processo de extrapolação foram encontradas expressões analíticas para estimar a variação de \hat{K}_t em função da frequência acumulada ($F(K_t)$).

Uma vez conhecidas as expressões que correlacionavam \hat{K}_t e F , foram construídas as curvas generalizadas de \hat{K}_t em função de F , conforme podem ser vistas na figura 13.

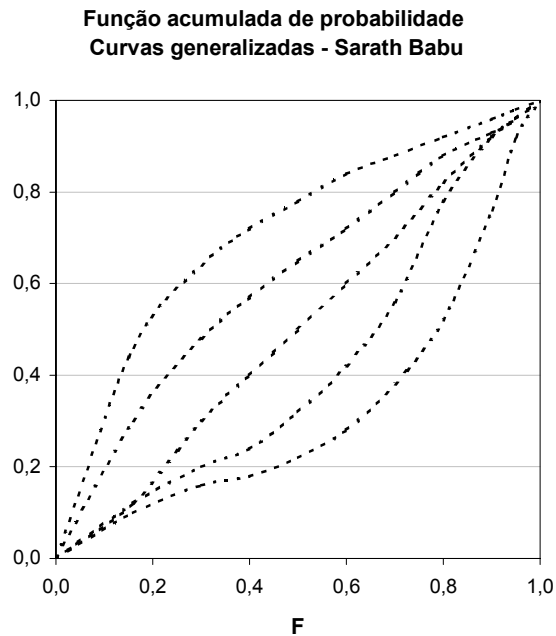


Figura 13 - As curvas generalizadas de Sarath Babu.

Fixando os valores de F , e estudando a variação de \hat{K}_t e \hat{K}_t verificou-se a existência de uma relação linear entre ambos, no intervalo correspondente aos valores de $0,20 < F < 0,80$. Portanto esta relação poderia ser representada pela expressão:

$$\hat{K}_t = A(F) + B(F)\hat{K}_t \quad (17)$$

Onde A e B podem ser expressos através das equações propostas após estudos que avaliaram sua variação em função de F .

$$A = -3,94F + 10,49F^2 - 8,60F^3 + 3,04F^4 \quad (18)$$

$$B = 9,97F - 20,93F^2 + 16,57F^3 - 5,61F^4 \quad (19)$$

Quando substituímos as equações (18) e (19) na equação (17), chegamos a expressão proposta para estimativa de \hat{K}_t em função de \bar{K}_t e F.

$$\hat{K}_t = (-3,94F + 10,49F^2 - 8,60F^3 + 3,04F^4) + (9,97F - 20,93F^2 + 16,57F^3 - 5,61F^4)\bar{K}_t \quad (20)$$

As pesquisas referentes a esta base de dados resultaram ainda, no surgimento de expressões empíricas utilizadas para estimar o $K_{t\max}$ e o $K_{t\min}$ de uma determinada localidade. Para testar a eficiência do modelo desenvolvido foram selecionados alguns locais cujas informações podem ser vistos na tabela 1; onde :

$$K_{t\max} = 0,452 + 0,412 \bar{K}_t + 0,0014\phi - 0,00026\delta_m \quad (21)$$

$$K_{t\min} = 0,145 + 0,834 \bar{K}_t - 0,00083\phi - 0,0000080h \quad (22)$$

onde : ϕ é a latitude, δ_m declinação média mensal e h é a altitude em relação ao nível do mar .

Tabela 1. Localidades selecionadas para testar a eficiência do modelo proposto.

| Localidade | Lat. (N) | Mês | \bar{K}_t | $K_{t\max}$ | $K_{t\min}$ | \hat{K}_t | Desvio padrão (1) | |
|------------|----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|------------|
| | | | | | | | modelo “x” | Modelo “y” |
| New Delhi | 28°58’ | Julho | 0,36 | 0,55 | 0,18 | 0,47 | 0,036 | 0,013 |
| Seattle | 47°45’ | Fevereiro | 0,36 | 0,63 | 0,14 | 0,45 | 0,031 | 0,023 |
| Guam | 13°55’ | Julho | 0,50 | 0,68 | 0,12 | 0,65 | 0,029 | 0,029 |
| Fairbanks | 64°82’ | Abril | 0,60 | 0,74 | 0,37 | 0,61 | 0,037 | 0,011 |
| El Paso | 31°80’ | Março | 0,68 | 0,79 | 0,34 | 0,75 | 0,019 | 0,018 |
| Redmond | 44°27’ | Setembro | 0,67 | 0,78 | 0,34 | 0,74 | 0,018 | 0,013 |

(1) Modelo “x” utiliza os valores de $K_{t\max}$ e $K_{t\min}$ obtidos através das equações (21) e (22), o modelo “y” utiliza os valores experimentais de $K_{t\max}$ e $K_{t\min}$.

De acordo com os resultados obtidos, de uma maneira geral o modelo mostrou-se mais eficiente quando conhecemos os valores experimentais de $K_{t\max}$ e $K_{t\min}$ (modelo “Y”). Porém, mesmo quando estes valores não são conhecidos (modelo “X”) é possível realizar estimativas eficientes de \hat{K}_t em função de F.

Considerações sobre o modelo

O modelo apresentou um bom ajuste em relação aos dados experimentais, os índices de transmitância previstos apresentaram um desvio padrão de no máximo 0,037.

O modelo pode ser utilizado com informações, apenas, referentes ao \bar{K}_t , pois $K_{t\max}$ e $K_{t\min}$ podem ser estimados, e os valores referentes à função acumulada (F) podem ser atribuídos dentro do intervalo (0,1).

Modelos de Radiação Solar – Resumo

A tabela 2 apresenta um resumo das características dos modelos estudados.

Tabela 2 – Características dos modelos estudados (continua)

| Modelo | Base de dados | Processo de obtenção | Expressões Propostas | Parâmetros | Comentários |
|-----------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Liu e Jordan Julho - - 1960 | 98 Localidades dos Estados Unidos e Canadá. | - Generalização da curva da função acumulada, obtida de forma empírica em função do \bar{K}_t . | | | - Não apresenta expressões analíticas para estimar FDP e $f(K_t, \bar{K}_t)$. - Região de estudo limitada. |
| P. Bendt Abril - 1980 | 90 Localidades dos Estados Unidos. | - Argumentos de mecânica estatística - Generalização da curva da função acumulada, obtida analiticamente, em função do \bar{K}_t . | $f(K_t) = C \exp(\gamma K_t)$; $F(K_t, \bar{K}_t) = \frac{\exp(\gamma K_{t \min}) - \exp(\gamma K_t)}{\exp(\gamma K_{t \min}) - \exp(\gamma K_{t \max})}$ $C = \gamma / (\exp(\gamma K_{t \max}) - \exp(\gamma K_{t \min}))$ $\bar{K}_t = \frac{(K_{t \min} - 1/\gamma) \exp(\gamma K_{t \min}) - (K_{t \max} - 1/\gamma) \exp(\gamma K_{t \max})}{\exp(\gamma K_{t \min}) - \exp(\gamma K_{t \max})}$ | $K_{t \min} = 0,05$ $K_{t \max} = 0,8$ | - $f(K_t)$ apresenta um crescimento exponencial da probabilidade em relação ao K_t , o que contrasta com os valores observados na prática. - $f(K_t)$ estima valores não nulos, para $K_t = 0$. |
| Hollands Abril - 1982 | Mesma utilizada por Liu e Jordan. | Teste de uma forma padrão da função densidade, que melhor ajustasse a diferenciação de Liu e Jordan | $f(K_t) = C[(K_{t \max} - K_t)/K_{t \max}] \exp(\gamma K_t), \gamma = \lambda / (1 + \lambda K_{t \max})$ $F(K_t, \bar{K}_t) = \frac{\exp(\gamma K_{t \min}) - \exp(\gamma K_t)}{\exp(\gamma K_{t \min}) - \exp(\gamma K_{t \max})}$ $\lambda = \frac{(29 - 17,519 \exp(-1,31189) - 1062 \exp(-5,04620))}{K_{t \max}}$ $C = \lambda^2 K_{t \max} / (e^{\lambda K_{t \max}} - 1 - \lambda K_{t \max})$ $\vartheta = K_{t \max} / (K_{t \max} - \bar{K}_t)$ $K_{t \max} = 0,6113 + 0,267 \bar{K}_t - 11,9(\bar{K}_t - 0,75)^8$ (Bendt) | $K_{t \min} = 0$ $K_{t \max} = 0,864$ | - $f(K_t)$ não mais apresenta um crescimento exponencial da probabilidade em relação ao K_t , o que contrasta com os valores observados na prática. - $f(K_t)$ estima valores não nulos para $K_t = 0$. - Hollands sugere um $K_{t \max}$, que possibilita um melhor ajuste para o modelo de Bendt. |

* = M. Abramowitz e I. A. Stegun, Handbook of Mathematical Functions. p. 930. Dover Publications, New York (1972).

Tabela 2 – Características dos modelos estudados (continuação)

| | | | | | |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Saunier Agosto 1986 | Localidades com climas seco, desértico e úmido quente, da Ásia. | Correção sugerida ao modelo de Hollands | $f(X, \bar{X}) = C(X - X^2) e^{\gamma X} \quad ; \quad X = K_t / K_{t \max}$ $\bar{X} = \frac{e^\gamma (\gamma^2 - 4\gamma + 6) - 2\gamma - 6}{\gamma [e^\gamma (\gamma - 2) + (\gamma + 2)]} \quad ; \quad C = \frac{\gamma^2}{e^\gamma (\gamma - 2) + (\gamma + 2)}$ $DDP = \left\{ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [X_i \{F(X_{ti}, \bar{X}_t) \text{ calculada} - F(X_{ti}, \bar{X}_t) \text{ dados}\}]^2 \right\}^{1/2}$ | $K_{t \min} = 0,05$ $K_{t \max} =$ utiliza o valor que minimiza o DPP. | <p>- $f(X)$ estima valores nulos, para $K_t = 0$.</p> <p>- O modelo não apresenta um bom ajuste para $f(X)$, em relação aos dados.</p> <p>- O modelo é o que melhor ajusta a função acumulada em relação aos dados para este tipo de clima.</p> |
| Sarath Babu Julho 1998 | 70 Localidades pertencentes a uma faixa de latitude de 8°N a 64°N, da Índia. | Extrapolação da representação gráfica da variação de F , para os dados experimentais agrupados em função de \hat{K}_t . | $\hat{K}_t = \frac{K_t - K_{t \min}}{K_{t \max} - K_{t \min}} \quad \hat{\bar{K}}_t = \frac{\bar{K}_t - K_{t \min}}{K_{t \max} - K_{t \min}}$ $\hat{K}_t = (-3,94F + 10,49F^2 - 8,60F^3 + 3,04F^4) + (9,97F - 20,93F^2 + 16,57F^3 - 5,61F^4) \hat{\bar{K}}_t$ $K_{t \max} = 0,452 + 0,412 \bar{K}_t + 0,0014 \phi - 0,00026 \delta_m$ $K_{t \min} = 0,145 + 0,834 \bar{K}_t - 0,00083 \phi - 0,0000080 h$ | Utiliza expressões analíticas para $K_{t \max}$ e $K_{t \min}$. | O modelo pode ser utilizado com informações apenas, do \bar{K}_t pois $K_{t \max}$ e $K_{t \min}$ podem ser estimados, e os valores referentes a função acumulada (F) podem ser atribuídos dentro do intervalo (0,1). |

2 MÉTODO

O procedimento utilizado teve como objetivo oferecer condições para a realização de uma análise fundamentada na comparação do desempenho dos modelos estudados em relação aos dados experimentais das localidades brasileiras, possibilitando assim, a determinação do modelo que melhor se adequa a essas localidades. Este procedimento foi realizado de acordo com as etapas descritas a seguir:

- Calcular a radiação solar diária extraterrestre, na horizontal (H_0) para as localidades estudadas, permitindo a realização de estimativas para o índice médio mensal de transmitância atmosférica (\bar{K}_t), definido como $\frac{\sum K_t}{n}$, onde n corresponde ao número de dias do mês.
- Calcular os parâmetros necessários para representação dos modelos de Hollands e Huget, Bendt, Saunier e Sarath Babu de acordo com as expressões apresentadas no capítulo 1.
- Utilizando os parâmetros obtidos no item anterior, construir as curvas relativas à função densidade de probabilidade $f(X)$ e a função de distribuição acumulada $F(X)$, para as 24 localidades brasileiras.

- Construir as curvas empíricas de $f(X)$ e $F(X)$, para os dados experimentais das 24 localidades brasileiras estudadas, onde $F(X)$, representará a probabilidade de K_t ser inferior a um determinado valor e $f(X)$ será representada por um histograma referente a probabilidade de ocorrência de K_t , com valores agrupados em classes com amplitudes iguais ($\Delta K_t = 0,07$).
- Comparar e analisar as curvas empíricas com as modeladas, para determinação do(s) modelo(s) que apresenta(m) melhor desempenho para cada uma das localidades brasileiras.

2.1 Banco de dados

Os dados da radiação solar diária considerados neste trabalho, foram obtidos com piranômetros Eppley modelo B&W, pelo Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil – INMET.

O banco de dados contém informações da rede solarimétrica do INMET constituída por 24 estações que funcionaram do final da década de 70 ao final da década de 80.

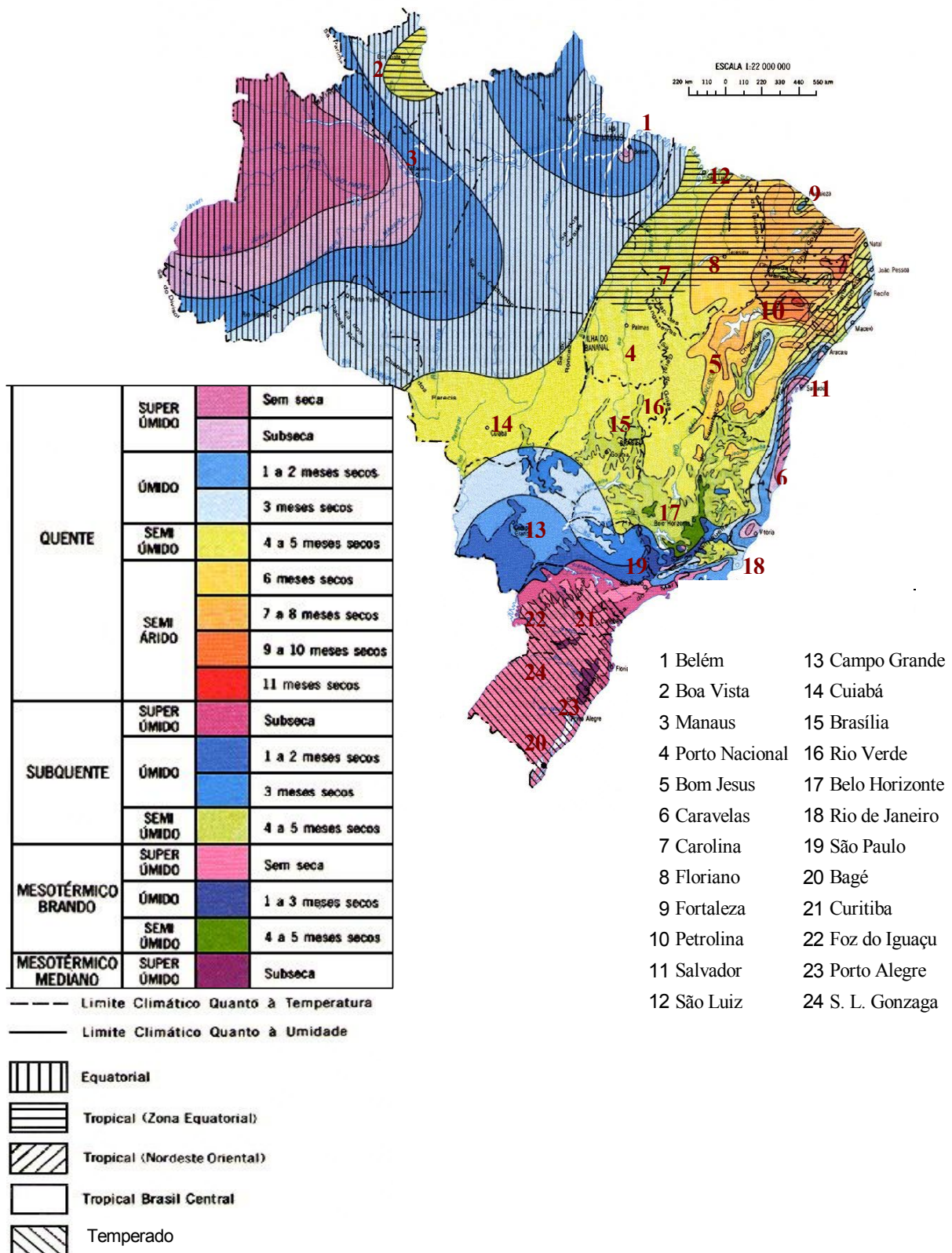
Trata-se do melhor conjunto de informações da irradiação solar diária terrestre do Brasil, considerando o equipamento utilizado e as longevidades das séries. Na tabela 3 pode ser vista a localização das estações e os períodos de observação.

Na figura 14 estas estações estão alocadas no mapa, que identifica as unidades climáticas brasileiras. Como pode ser visto, embora os dados sejam bastante escassos, os mesmos estão distribuídos em regiões climáticas diferentes, o que os tornam representativos para este trabalho.

Tabela 3 - Localização das estações piranométricas cujos dados de irradiação solar diária foram utilizados neste estudo.

| Localidade | Altitude (m) | Latitude (°) | Longitude(°) | Período |
|----------------|--------------|--------------|--------------|-----------|
| Belém | 4,80 | 1:27 S | 48:28 O | 1978-1987 |
| Boa Vista | 90,00 | 2:49 S | 60:39 O | 1980-1989 |
| Manaus | 72,00 | 3:08 S | 60:01 O | 1978-1990 |
| Porto Nacional | 239,20 | 10:43 S | 48:25 O | 1984-1989 |
| Bom Jesus | 439,95 | 13:16 S | 43:25 O | 1978-1981 |
| Caravelas | 2,88 | 17:44 S | 39:15 O | 1978-1990 |
| Carolina | 192,83 | 7:20 S | 47:28 O | 1978-1987 |
| Florianópolis | 123,27 | 6:46 S | 43:02 O | 1978-1990 |
| Fortaleza | 26,45 | 3:46 S | 38:36 O | 1978-1989 |
| Petrolina | 370,46 | 9:23 S | 40:30 O | 1978-1989 |
| Salvador | 21,41 | 13:00 S | 38:31 O | 1978-1989 |
| São Luiz | 50,77 | 2:32 S | 44:17 O | 1978-1988 |
| Campo Grande | 600,00 | 20:27 S | 54:37 O | 1978-1990 |
| Cuiabá | 178,87 | 15:33 S | 56:07 O | 1978-1989 |
| Brasília | 745,54 | 15:47 S | 47:56 O | 1978-1990 |
| Rio Verde | 745,54 | 17:48 S | 50:55 O | 1984-1987 |
| Belo Horizonte | 850,23 | 19:56 S | 43:56 O | 1979-1990 |
| Rio de Janeiro | 5,32 | 22:55 S | 43:10 O | 1978-1988 |
| São Paulo | 792,03 | 23:30 S | 46:37 O | 1978-1988 |
| Bagé | 241,54 | 31:20S | 54:06 O | 1984-1990 |
| Curitiba | 923,50 | 25:26S | 49:16 O | 1978-1990 |
| Foz do Iguaçu | 154,00 | 25:33S | 54:34 O | 1978-1981 |
| Porto Alegre | 46,97 | 30:01S | 51:13 O | 1978-1990 |
| S. L. Gonzaga | 254,11 | 28:24S | 55:01 O | 1984-1990 |

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil – INMET.



Fonte - IBGE, diagnóstico Brasil -1990.

Figura 14 - Identificação das localidades, de acordo com as unidades climáticas brasileiras.

2.1.1 Medidas relativas ao Índice médio de transmitância atmosférica (\bar{K}_t) das localidades estudadas

Na tabela 4 estão representadas as medidas relativas ao \bar{K}_t , para as 24 localidades referentes aos meses de fevereiro, maio, julho e dezembro do período analisado. A variabilidade do índice nesses meses contempla toda a faixa de variação anual nas localidades estudadas, que assume valores médios mensais mínimos em torno de 0,37 (fevereiro na cidade de São Luiz) e valores médios mensais máximos próximos de 0,65 (julho na cidade de Floriano).

Tabela 4 - Medidas relativas ao $\overline{K_t}$ das localidades estudadas

| Localidade | mês | | K_t max médio | K_t min médio | Desvio Padrão | | Localidade | mês | | K_t max médio | K_t min médio | Desvio Padrão |
|----------------|-----------|------|--------------------|--------------------|------------------|--|----------------|-----------|------|--------------------|--------------------|------------------|
| Belém | fevereiro | 0,39 | 0,58 | 0,19 | 0,11 | | Campo Grande | fevereiro | 0,50 | 0,69 | 0,18 | 0,15 |
| | maio | 0,50 | 0,67 | 0,29 | 0,11 | | | maio | 0,56 | 0,75 | 0,18 | 0,17 |
| | julho | 0,57 | 0,68 | 0,39 | 0,07 | | | julho | 0,62 | 0,75 | 0,20 | 0,16 |
| | dezembro | 0,45 | 0,67 | 0,23 | 0,10 | | | dezembro | 0,62 | 0,73 | 0,16 | 0,15 |
| Boa Vista | fevereiro | 0,52 | 0,68 | 0,28 | 0,10 | | Cuiabá | fevereiro | 0,48 | 0,68 | 0,24 | 0,12 |
| | maio | 0,49 | 0,72 | 0,20 | 0,14 | | | maio | 0,56 | 0,71 | 0,22 | 0,15 |
| | julho | 0,52 | 0,74 | 0,22 | 0,14 | | | julho | 0,59 | 0,72 | 0,23 | 0,13 |
| | dezembro | 0,49 | 0,64 | 0,16 | 0,11 | | | dezembro | 0,47 | 0,69 | 0,23 | 0,13 |
| Manaus | fevereiro | 0,39 | 0,61 | 0,11 | 0,15 | | Brasília | fevereiro | 0,48 | 0,69 | 0,19 | 0,15 |
| | maio | 0,46 | 0,69 | 0,14 | 0,15 | | | maio | 0,59 | 0,72 | 0,27 | 0,12 |
| | julho | 0,49 | 0,68 | 0,22 | 0,14 | | | julho | 0,64 | 0,76 | 0,37 | 0,11 |
| | dezembro | 0,40 | 0,64 | 0,10 | 0,14 | | | dezembro | 0,41 | 0,68 | 0,17 | 0,13 |
| Porto Nacional | fevereiro | 0,40 | 0,58 | 0,17 | 0,14 | | Rio Verde | fevereiro | 0,44 | 0,62 | 0,20 | 0,12 |
| | maio | 0,55 | 0,74 | 0,36 | 0,12 | | | maio | 0,50 | 0,64 | 0,28 | 0,11 |
| | julho | 0,59 | 0,69 | 0,41 | 0,10 | | | julho | 0,56 | 0,66 | 0,32 | 0,10 |
| | dezembro | 0,45 | 0,59 | 0,13 | 0,15 | | | dezembro | 0,42 | 0,59 | 0,19 | 0,12 |
| Bom Jesus | fevereiro | 0,50 | 0,71 | 0,22 | 0,17 | | Belo Horizonte | fevereiro | 0,47 | 0,65 | 0,20 | 0,14 |
| | maio | 0,60 | 0,68 | 0,38 | 0,09 | | | maio | 0,54 | 0,68 | 0,26 | 0,12 |
| | julho | 0,63 | 0,72 | 0,38 | 0,08 | | | julho | 0,58 | 0,69 | 0,26 | 0,11 |
| | dezembro | 0,46 | 0,61 | 0,21 | 0,15 | | | dezembro | 0,38 | 0,64 | 0,13 | 0,15 |
| Caravelas | fevereiro | 0,53 | 0,69 | 0,25 | 0,13 | | Rio de Janeiro | fevereiro | 0,57 | 0,75 | 0,20 | 0,18 |
| | maio | 0,51 | 0,69 | 0,22 | 0,13 | | | maio | 0,52 | 0,73 | 0,16 | 0,18 |
| | julho | 0,52 | 0,69 | 0,23 | 0,12 | | | julho | 0,54 | 0,71 | 0,14 | 0,17 |
| | dezembro | 0,48 | 0,68 | 0,16 | 0,16 | | | dezembro | 0,47 | 0,70 | 0,17 | 0,19 |
| Carolina | fevereiro | 0,40 | 0,63 | 0,14 | 0,15 | | São Paulo | fevereiro | 0,43 | 0,63 | 0,16 | 0,16 |
| | maio | 0,57 | 0,70 | 0,28 | 0,11 | | | maio | 0,45 | 0,67 | 0,12 | 0,17 |
| | julho | 0,61 | 0,69 | 0,40 | 0,08 | | | julho | 0,48 | 0,68 | 0,10 | 0,17 |
| | dezembro | 0,39 | 0,60 | 0,17 | 0,15 | | | dezembro | 0,39 | 0,63 | 0,12 | 0,15 |
| Florianópolis | fevereiro | 0,45 | 0,68 | 0,14 | 0,15 | | Bagé | fevereiro | 0,53 | 0,79 | 0,18 | 0,19 |
| | maio | 0,59 | 0,71 | 0,37 | 0,10 | | | maio | 0,57 | 0,79 | 0,23 | 0,18 |
| | julho | 0,65 | 0,73 | 0,47 | 0,07 | | | julho | 0,43 | 0,66 | 0,09 | 0,23 |
| | dezembro | 0,47 | 0,67 | 0,17 | 0,14 | | | dezembro | 0,59 | 0,78 | 0,12 | 0,18 |
| Fortaleza | fevereiro | 0,46 | 0,63 | 0,23 | 0,14 | | Curitiba | fevereiro | 0,44 | 0,66 | 0,15 | 0,15 |
| | maio | 0,50 | 0,64 | 0,24 | 0,13 | | | maio | 0,44 | 0,67 | 0,10 | 0,19 |
| | julho | 0,56 | 0,67 | 0,37 | 0,11 | | | julho | 0,46 | 0,69 | 0,10 | 0,18 |
| | dezembro | 0,52 | 0,65 | 0,28 | 0,12 | | | dezembro | 0,42 | 0,67 | 0,15 | 0,16 |
| Petrolina | fevereiro | 0,53 | 0,74 | 0,18 | 0,15 | | Foz do Iguaçu | fevereiro | 0,51 | 0,67 | 0,18 | 0,14 |
| | maio | 0,56 | 0,75 | 0,32 | 0,10 | | | maio | 0,53 | 0,72 | 0,08 | 0,21 |
| | julho | 0,55 | 0,73 | 0,29 | 0,11 | | | julho | 0,46 | 0,71 | 0,11 | 0,17 |
| | dezembro | 0,54 | 0,71 | 0,21 | 0,13 | | | dezembro | 0,50 | 0,70 | 0,12 | 0,15 |
| Salvador | fevereiro | 0,53 | 0,74 | 0,17 | 0,14 | | Porto Alegre | fevereiro | 0,51 | 0,69 | 0,18 | 0,15 |
| | maio | 0,50 | 0,72 | 0,15 | 0,14 | | | maio | 0,47 | 0,68 | 0,10 | 0,24 |
| | julho | 0,55 | 0,73 | 0,22 | 0,13 | | | julho | 0,45 | 0,73 | 0,10 | 0,20 |
| | dezembro | 0,54 | 0,73 | 0,16 | 0,14 | | | dezembro | 0,50 | 0,66 | 0,14 | 0,18 |
| São Luiz | fevereiro | 0,37 | 0,56 | 0,14 | 0,13 | | S. L. Gonzaga | fevereiro | 0,54 | 0,72 | 0,18 | 0,16 |
| | maio | 0,45 | 0,59 | 0,28 | 0,10 | | | maio | 0,54 | 0,77 | 0,09 | 0,21 |
| | julho | 0,50 | 0,62 | 0,31 | 0,09 | | | julho | 0,52 | 0,75 | 0,07 | 0,21 |
| | dezembro | 0,47 | 0,62 | 0,22 | 0,11 | | | dezembro | 0,57 | 0,73 | 0,19 | 0,16 |

2.2 Índice de transmitância atmosférica - K_t

O índice de transmitância atmosférica (K_t), a razão entre a radiação diária total no plano horizontal, e a radiação solar diária extra terrestre na horizontal, pode ser calculado mediante a expressão :

$$K_t = H_h / H_o \quad (23)$$

O H representa os valores observados da radiação diária total incidente no plano horizontal e, H_o , a radiação solar diária extra terrestre incidente no plano horizontal que foi obtida através da seguinte expressão :

$$H_o = (24/\pi)I_o[1 + 0,0333\cos(360n/365)][(2\pi h_s/360)\sin L \sin \delta + \cos L \cos \delta \cosh_s] \quad (24)$$

Onde :

I_o = constante solar cujo valor é $1367\text{W}/\text{m}^2$

n = número de dias contados a partir de 1º de janeiro. (dia Juliano)

h_s = hora do por do sol, dada por

$$h_s = \cos^{-1}[-\text{tg } L \text{ tg } \delta] \quad (25)$$

L = latitude (distância angular de um ponto no hemisfério norte ou sul ao plano do equador)

δ = Declinação (distância angular dos raios solares e o plano do equador). Varia de $-23,45$

graus (21 de dezembro) a + 23,45 graus (21 de junho), obtida pela seguinte expressão:

$$\delta = 23,5 \text{sen}[(360/365)(28 + n)] \quad (26)$$

2.3 Cálculo dos parâmetros utilizados pelos modelos

O cálculos dos parâmetros necessários para representação dos modelos, tabela 5, foi realizado mediante a utilização das expressões definidas no capítulo 1.

Tabela 5 Parâmetros utilizados pelos modelos.

| Modelos | Parâmetros | | |
|------------------|------------|-------|-------------------|
| | | | |
| Hollands e Huget | λ | C | γ |
| Bendt | | C | γ |
| Saunier | | C | γ |
| Sarath e Babu | | K_t | $\hat{\bar{K}}_t$ |

Além dos parâmetros acima, cada modelo é parametrizado pelos valores extremos de K_t , que serão melhor analisados a seguir

2.3.1 Valores extremos de K_t

Após o cálculo dos valores diários de K_t , conhecendo o valor médio mensal deste índice (\bar{K}_t), foi possível realizar estimativas de $f(X)$ e de $(F(X))$ para os modelos de Bendt, Hollands e Huget, Saunier e Sarath Babu, mediante as expressões (1), (2), (4), (8), (10) e (20) definidas anteriormente .

A utilização destes modelos requer os valores extremos de K_t para cada local, e mediante a inspeção das séries de K_t , foi possível a determinação desses valores, que estão representados na tabela 6 .

Tabela 6 - Valores extremos de K_t utilizados para estimar $f(X)$ e $F(X)$.

| Modelo | parâmetro |
|-------------|------------------------------------------|
| Bendt | $K_{t \min} = \text{Experimental}$ |
| | $K_{t \max} = 0,8$ |
| Hollands | $K_{t \min} = \text{Experimental}$ |
| | $K_{t \max} = 0,864$ |
| Saunier | $K_{t \min} = 0,05$ |
| | $K_{t \max} = K_{t \max} (\text{médio})$ |
| Sarath Babu | $K_{t \min} = \text{Experimental}$ |
| | $K_{t \max} = K_{t \max} (\text{médio})$ |

A grande variabilidade dos valores assumidos por $K_{t \max}$ mensal de cada série, não permitia um desempenho satisfatório para os modelos de Saunier e Sarath Babu. Verificou-se que este desempenho melhorava de forma significativa quando o valor médio de $K_{t \max}$, mensal era utilizado.

2.4 Comparação dos modelos

2.4.1 A função distribuição acumulada $F(x)$

O desempenho dos modelos para localidades, referentes a $F(x)$ foram verificados através do desvio padrão ponderado (DPP), proposto por Saunier, que verifica a variação do ajuste do modelo em relação aos dados experimentais e pode ser obtido pela equação (14), já

definida.

Após a identificação dos modelos que apresentaram melhor desempenho para cada localidade, verificou-se o comportamento deste modelo com relação à razão dos desvios (RD) e ao coeficiente de massa residual (CMR), calculados pelas equações (27) e (28).

$$RD = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (F(K_{ti}) - \bar{K}_t)^2 \text{ dados}}{\sum_{i=1}^N (F(K_{ti}) - \bar{K}_t)^2 \text{ calculada}} \right] \quad (27)$$

$$CMR = \left[\frac{\sum_{i=1}^N F(K_{ti}) \text{ dados} - \sum_{i=1}^N F(K_{ti}) \text{ calculada}}{\sum_{i=1}^N F(K_{ti}) \text{ dados}} \right] \quad (28)$$

Onde RD, cujo valores ideais devem aproximar-se de um, descreve a razão entre o espalhamento das determinações experimentais e o espalhamento dos valores modelados, e CMR indica se o modelo tende a oferecer resultados superestimados ($CMR < 0$) ou subestimados ($CMR > 0$).

2.4.2 A função densidade de probabilidade $f(x)$

Quando da avaliação dos desempenhos relativos à $f(x)$, não foi necessária a utilização de medidas de variação em relação aos dados experimentais pois, apesar de não apresentar um bom ajuste em relação aos dados o modelo proposto por Saunier foi o único a apresentar resultados realistas para as regiões próximas de $K_{tmáximo}$ e de $K_t = 0$.

3. COMPARAÇÃO DOS DADOS ANALISADOS EM RELAÇÃO AOS MODELOS ESTUDADOS

3.1 Parâmetros dos modelos

Os dados das 24 localidades em estudo estão representadas a seguir , juntamente com os parâmetros utilizados durante a realização de estimativas para $F(X)$ e $f(X)$ fundamentadas nos modelos propostos, (tabelas 7 a 10).

Durante a análise verificou-se as variações do índice de transmitância atmosférica (K_t) para os meses de fevereiro, maio, julho e dezembro , pois a variabilidade do índice nesses meses contempla toda a faixa de variação anual nas localidades estudadas, que assume valores médios mensais mínimos em torno de 0,37 (fevereiro em São Luiz) e valores médios mensais máximos próximos de 0,65 (julho na cidade de Floriano).

Tabela 7 - Parâmetros utilizados para o modelo de Hollands

| Localidade | mês | λ | C | γ | | mês | t | λ | C | γ | |
|----------------|-----------|-----------|------|----------|------|----------------|-----------|-----------|------|----------|------|
| Belém | fevereiro | 0.39 | 2.24 | 1.09 | 0.76 | Campo Grande | fevereiro | 0.50 | 4.52 | 0.40 | 0.92 |
| | maio | 0.50 | 4.58 | 0.38 | 0.92 | | maio | 0.56 | 6.00 | 0.18 | 0.97 |
| | julho | 0.57 | 6.37 | 0.15 | 0.98 | | julho | 0.62 | 7.93 | 0.06 | 1.01 |
| | dezembro | 0.45 | 3.49 | 0.65 | 0.87 | | dezembro | 0.62 | 4.45 | 0.41 | 0.92 |
| Boa Vista | fevereiro | 0.52 | 5.08 | 0.30 | 0.94 | Cuiabá | fevereiro | 0.48 | 4.13 | 0.48 | 0.90 |
| | maio | 0.49 | 4.58 | 0.43 | 0.92 | | maio | 0.56 | 6.09 | 0.17 | 0.97 |
| | julho | 0.52 | 5.06 | 0.30 | 0.94 | | julho | 0.59 | 6.98 | 0.10 | 0.99 |
| | dezembro | 0.49 | 4.36 | 0.43 | 0.92 | | dezembro | 0.47 | 3.92 | 0.53 | 0.89 |
| Manaus | fevereiro | 0.39 | 2.24 | 1.09 | 0.76 | Brasília | fevereiro | 0.48 | 4.13 | 0.48 | 0.90 |
| | maio | 0.46 | 3.70 | 0.58 | 0.88 | | maio | 0.59 | 6.97 | 0.10 | 0.99 |
| | julho | 0.49 | 4.36 | 0.43 | 0.92 | | julho | 0.64 | 8.80 | 0.03 | 1.02 |
| | dezembro | 0.40 | 2.45 | 1.00 | 0.79 | | dezembro | 0.41 | 2.65 | 0.92 | 0.81 |
| Porto Nacional | fevereiro | 0.40 | 2.45 | 1.00 | 0.79 | Rio Verde | fevereiro | 0.44 | 3.28 | 0.70 | 0.86 |
| | maio | 0.55 | 5.82 | 0.20 | 0.97 | | maio | 0.50 | 4.58 | 0.38 | 0.92 |
| | julho | 0.59 | 6.98 | 0.10 | 0.99 | | julho | 0.56 | 6.09 | 0.17 | 0.97 |
| | dezembro | 0.45 | 3.49 | 0.64 | 0.87 | | dezembro | 0.42 | 2.86 | 0.85 | 0.82 |
| Bom Jesus | fevereiro | 0.50 | 4.59 | 0.38 | 0.92 | Belo Horizonte | fevereiro | 0.47 | 3.92 | 0.53 | 0.89 |
| | maio | 0.60 | 7.30 | 0.09 | 1.00 | | maio | 0.54 | 5.56 | 0.23 | 0.96 |
| | julho | 0.63 | 8.39 | 0.04 | 1.02 | | julho | 0.58 | 6.67 | 0.12 | 0.99 |
| | dezembro | 0.46 | 3.70 | 0.58 | 0.88 | | dezembro | 0.38 | 2.03 | 1.18 | 0.74 |
| Caravelas | fevereiro | 0.53 | 5.30 | 0.26 | 0.95 | Rio de Janeiro | fevereiro | 0.57 | 6.37 | 0.15 | 0.98 |
| | maio | 0.51 | 4.82 | 0.34 | 0.93 | | maio | 0.52 | 5.06 | 0.30 | 0.94 |
| | julho | 0.52 | 2.51 | 0.30 | 0.94 | | julho | 0.54 | 5.56 | 0.23 | 0.96 |
| | dezembro | 0.48 | 4.13 | 0.47 | 0.90 | | dezembro | 0.47 | 3.92 | 0.53 | 0.89 |
| Carolina | fevereiro | 0.40 | 2.44 | 1.00 | 0.78 | São Paulo | fevereiro | 0.43 | 3.07 | 0.77 | 0.35 |
| | maio | 0.57 | 6.37 | 0.15 | 0.98 | | maio | 0.45 | 3.49 | 0.64 | 0.87 |
| | julho | 0.61 | 7.64 | 0.07 | 1.00 | | julho | 0.48 | 4.13 | 0.48 | 0.90 |
| | dezembro | 0.39 | 2.24 | 1.09 | 0.76 | | dezembro | 0.39 | 2.24 | 1.09 | 0.76 |
| Florianópolis | fevereiro | 0.45 | 3.49 | 0.64 | 0.87 | Bagé | fevereiro | 0.53 | 5.30 | 0.26 | 0.95 |
| | maio | 0.59 | 6.98 | 0.99 | 0.02 | | maio | 0.57 | 6.37 | 0.15 | 0.98 |
| | julho | 0.65 | 9.24 | 0.03 | 1.03 | | julho | 0.43 | 3.07 | 0.77 | 0.84 |
| | dezembro | 0.47 | 3.92 | 0.53 | 0.89 | | dezembro | 0.59 | 6.98 | 0.10 | 0.99 |
| Fortaleza | fevereiro | 0.46 | 3.70 | 0.58 | 0.88 | Curitiba | fevereiro | 0.44 | 3.28 | 0.71 | 0.86 |
| | maio | 0.50 | 4.59 | 0.38 | 0.92 | | maio | 0.44 | 3.28 | 0.71 | 0.86 |
| | julho | 0.56 | 6.09 | 0.17 | 0.97 | | julho | 0.46 | 3.70 | 0.58 | 0.88 |
| | dezembro | 0.52 | 5.06 | 0.30 | 0.94 | | dezembro | 0.42 | 2.86 | 0.85 | 0.82 |
| Petrolina | fevereiro | 0.53 | 5.30 | 0.26 | 0.06 | Foz do Iguaçu | fevereiro | 0.51 | 4.82 | 0.34 | 0.93 |
| | maio | 0.56 | 6.09 | 0.17 | 0.97 | | maio | 0.53 | 5.30 | 0.26 | 0.95 |
| | julho | 0.55 | 5.82 | 0.20 | 0.97 | | julho | 0.46 | 3.70 | 0.58 | 0.88 |
| | dezembro | 0.54 | 5.56 | 0.23 | 0.96 | | dezembro | 0.50 | 5.06 | 0.30 | 0.94 |
| Salvador | fevereiro | 0.53 | 6.09 | 0.17 | 0.97 | Porto Alegre | fevereiro | 0.51 | 4.82 | 0.34 | 0.93 |
| | maio | 0.50 | 4.59 | 0.38 | 0.92 | | maio | 0.47 | 3.92 | 0.53 | 0.89 |
| | julho | 0.55 | 5.06 | 0.30 | 0.94 | | julho | 0.45 | 3.47 | 0.64 | 0.87 |
| | dezembro | 0.54 | 5.82 | 0.20 | 0.97 | | dezembro | 0.50 | 4.59 | 0.38 | 0.92 |
| São Luiz | fevereiro | 0.37 | 1.82 | 1.27 | 0.70 | S. L. Gonzaga | fevereiro | 0.54 | 5.56 | 0.23 | 0.96 |
| | maio | 0.45 | 3.48 | 0.64 | 0.87 | | maio | 0.54 | 5.56 | 0.23 | 0.96 |
| | julho | 0.50 | 4.59 | 0.38 | 0.92 | | julho | 0.52 | 5.06 | 0.30 | 0.94 |
| | dezembro | 0.47 | 3.92 | 0.53 | 0.89 | | dezembro | 0.57 | 6.37 | 0.15 | 0.98 |

Tabela 8 - Parâmetros utilizados para o modelo de Bendt.

| Localidade | mês | t | C | γ | | | mês | t | C | γ |
|----------------|-----------|------|-------|----------|--|----------------|-----------|------|------|----------|
| Belém | fevereiro | 0,39 | 0,50 | 1,76 | | Campo Grande | fevereiro | 0,50 | 0,44 | 2,63 |
| | maio | 0,50 | 0,61 | 2,00 | | | maio | 0,56 | 0,19 | 4,10 |
| | julho | 0,57 | 0,125 | 5,00 | | | julho | 0,62 | 0,07 | 5,94 |
| | dezembro | 0,45 | 0,76 | 1,50 | | | dezembro | 0,62 | 0,46 | 2,56 |
| Boa Vista | fevereiro | 0,52 | 0,315 | 3,30 | | Cuiabá | fevereiro | 0,48 | 0,60 | 2,00 |
| | maio | 0,49 | 0,455 | 2,60 | | | maio | 0,56 | 0,22 | 4,00 |
| | julho | 0,52 | 0,269 | 3,60 | | | julho | 0,59 | 0,13 | 5,00 |
| | dezembro | 0,49 | 0,51 | 2,90 | | | dezembro | 0,47 | 0,74 | 1,55 |
| Manaus | fevereiro | 0,39 | 1,04 | 0,80 | | Brasília | fevereiro | 0,48 | 0,60 | 2,00 |
| | maio | 0,46 | 0,66 | 1,80 | | | maio | 0,59 | 1,56 | 4,65 |
| | julho | 0,49 | 0,47 | 2,49 | | | julho | 0,64 | 0,04 | 6,75 |
| | dezembro | 0,40 | 0,95 | 1,00 | | | dezembro | 0,41 | 0,95 | 1,00 |
| Porto Nacional | fevereiro | 0,40 | 1,13 | 0,60 | | Rio Verde | fevereiro | 0,44 | 0,95 | 1,00 |
| | maio | 0,55 | 0,22 | 4,00 | | | maio | 0,50 | 0,60 | 2,00 |
| | julho | 0,59 | 0,09 | 5,50 | | | julho | 0,56 | 0,28 | 3,50 |
| | dezembro | 0,45 | 0,76 | 1,50 | | | dezembro | 0,42 | 1,23 | 0,40 |
| Bom Jesus | fevereiro | 0,50 | 0,43 | 2,70 | | Belo Horizonte | fevereiro | 0,47 | 0,69 | 1,70 |
| | maio | 0,60 | 0,08 | 5,80 | | | maio | 0,54 | 0,29 | 3,50 |
| | julho | 0,63 | 0,05 | 6,50 | | | julho | 0,58 | 0,14 | 4,75 |
| | dezembro | 0,46 | 1,18 | 0,50 | | | dezembro | 0,38 | 1,18 | 0,50 |
| Caravelas | fevereiro | 0,53 | 0,37 | 3,00 | | Rio de Janeiro | fevereiro | 0,57 | 0,17 | 4,50 |
| | maio | 0,51 | 0,41 | 2,80 | | | maio | 0,52 | 0,35 | 3,10 |
| | julho | 0,52 | 0,47 | 2,50 | | | julho | 0,54 | 0,27 | 3,60 |
| | dezembro | 0,48 | 0,60 | 2,00 | | | dezembro | 0,47 | 0,57 | 2,10 |
| Carolina | fevereiro | 0,40 | 1,04 | 0,80 | | São Paulo | fevereiro | 0,43 | 0,87 | 1,20 |
| | maio | 0,57 | 0,10 | 5,40 | | | maio | 0,45 | 0,77 | 1,50 |
| | julho | 0,61 | 0,05 | 6,50 | | | julho | 0,48 | 0,55 | 2,20 |
| | dezembro | 0,39 | 0,99 | 0,90 | | | dezembro | 0,39 | 1,18 | 0,50 |
| Florianópolis | fevereiro | 0,45 | 0,62 | 1,95 | | Bagé | fevereiro | 0,53 | 0,30 | 3,38 |
| | maio | 0,59 | 0,11 | 5,30 | | | maio | 0,57 | 0,18 | 4,35 |
| | julho | 0,65 | 0,01 | 9,00 | | | julho | 0,43 | 0,85 | 1,25 |
| | dezembro | 0,47 | 0,13 | 5,00 | | | dezembro | 0,59 | 0,13 | 4,95 |
| Fortaleza | fevereiro | 0,46 | 0,60 | 2,00 | | Curitiba | fevereiro | 0,44 | 0,92 | 1,05 |
| | maio | 0,50 | 0,41 | 2,80 | | | maio | 0,44 | 0,75 | 1,54 |
| | julho | 0,56 | 0,22 | 4,00 | | | julho | 0,46 | 0,66 | 1,80 |
| | dezembro | 0,52 | 0,33 | 3,20 | | | dezembro | 0,42 | 1,15 | 0,55 |
| Petrolina | fevereiro | 0,53 | 0,30 | 3,40 | | Foz do Iguaçu | fevereiro | 0,51 | 0,40 | 2,86 |
| | maio | 0,56 | 0,20 | 4,20 | | | maio | 0,53 | 0,30 | 3,45 |
| | julho | 0,55 | 0,22 | 4,00 | | | julho | 0,46 | 0,72 | 1,62 |
| | dezembro | 0,54 | 0,24 | 3,80 | | | dezembro | 0,50 | 0,36 | 3,05 |
| Salvador | fevereiro | 0,53 | 0,22 | 4,00 | | Porto Alegre | fevereiro | 0,51 | 0,28 | 3,60 |
| | maio | 0,50 | 0,29 | 3,50 | | | maio | 0,47 | 0,42 | 2,80 |
| | julho | 0,55 | 0,37 | 3,00 | | | julho | 0,45 | 0,54 | 2,20 |
| | dezembro | 0,54 | 0,14 | 4,80 | | | dezembro | 0,50 | 0,37 | 3,00 |
| São Luiz | fevereiro | 0,37 | 1,18 | 0,50 | | S. L. Gonzaga | fevereiro | 0,54 | 0,27 | 3,60 |
| | maio | 0,45 | 0,96 | 1,00 | | | maio | 0,54 | 0,26 | 3,72 |
| | julho | 0,50 | 0,37 | 3,00 | | | julho | 0,52 | 0,33 | 3,22 |
| | dezembro | 0,47 | 0,47 | 2,50 | | | dezembro | 0,57 | 0,17 | 4,45 |

Tabela 9 - Parâmetros utilizados para o modelo de Saunier.

| Localidade | mês | | C | γ | | mês | | C | γ |
|----------------|-----------|------|-------|----------|----------------|-----------|------|-------|----------|
| Belém | fevereiro | 0,39 | 4,80 | 0,32 | Campo Grande | fevereiro | 0,50 | 5,00 | 0,28 |
| | maio | 0,50 | 6,05 | 0,13 | | maio | 0,56 | 6,00 | 0,13 |
| | julho | 0,57 | 11,00 | 0,00 | | julho | 0,62 | 10,00 | 0,01 |
| | dezembro | 0,45 | 4,80 | 0,32 | | dezembro | 0,62 | 5,00 | 0,28 |
| Boa Vista | fevereiro | 0,52 | 6,82 | 0,07 | Cuiabá | fevereiro | 0,48 | 4,72 | 0,34 |
| | maio | 0,49 | 4,00 | 0,56 | | maio | 0,56 | 8,00 | 0,03 |
| | julho | 0,52 | 5,60 | 0,18 | | julho | 0,59 | 9,65 | 0,01 |
| | dezembro | 0,49 | 6,85 | 0,07 | | dezembro | 0,47 | 4,00 | 0,56 |
| Manaus | fevereiro | 0,39 | 4,00 | 0,55 | Brasília | fevereiro | 0,48 | 4,40 | 0,42 |
| | maio | 0,46 | 5,00 | 0,28 | | maio | 0,59 | 9,65 | 0,01 |
| | julho | 0,49 | 6,00 | 0,13 | | julho | 0,64 | 11,60 | 0,00 |
| | dezembro | 0,40 | 5,00 | 0,28 | | dezembro | 0,41 | 4,00 | 0,56 |
| Porto Nacional | fevereiro | 0,40 | 4,25 | 0,47 | Rio Verde | fevereiro | 0,44 | 5,00 | 0,28 |
| | maio | 0,55 | 5,96 | 0,14 | | maio | 0,50 | 7,50 | 0,04 |
| | julho | 0,59 | 9,00 | 0,01 | | julho | 0,56 | 11,80 | 0,00 |
| | dezembro | 0,45 | 4,00 | 0,56 | | dezembro | 0,42 | 4,90 | 0,30 |
| Bom Jesus | fevereiro | 0,50 | 4,69 | 0,34 | Belo Horizonte | fevereiro | 0,47 | 5,25 | 0,23 |
| | maio | 0,60 | 15,80 | 0,00 | | maio | 0,54 | 8,15 | 0,03 |
| | julho | 0,63 | 14,85 | 0,00 | | julho | 0,58 | 11,20 | 0,00 |
| | dezembro | 0,46 | 6,35 | 0,10 | | dezembro | 0,38 | 3,00 | 1,08 |
| Caravelas | fevereiro | 0,53 | 7,00 | 0,06 | Rio de Janeiro | fevereiro | 0,57 | 6,60 | 0,09 |
| | maio | 0,51 | 6,00 | 0,13 | | maio | 0,52 | 4,90 | 0,30 |
| | julho | 0,52 | 6,50 | 0,09 | | julho | 0,54 | 6,65 | 0,08 |
| | dezembro | 0,48 | 4,75 | 0,33 | | dezembro | 0,47 | 3,75 | 0,66 |
| Carolina | fevereiro | 0,40 | 3,65 | 0,70 | São Paulo | fevereiro | 0,43 | 4,05 | 0,54 |
| | maio | 0,57 | 9,30 | 0,01 | | maio | 0,45 | 3,75 | 0,66 |
| | julho | 0,61 | 16,00 | 0,00 | | julho | 0,48 | 4,75 | 0,33 |
| | dezembro | 0,39 | 0,41 | 0,52 | | dezembro | 0,39 | 3,50 | 0,78 |
| Floriano | fevereiro | 0,45 | 4,50 | 0,39 | Bagé | fevereiro | 0,53 | 3,75 | 0,66 |
| | maio | 0,59 | 10,00 | 0,01 | | maio | 0,57 | 5,20 | 0,24 |
| | julho | 0,65 | 20,00 | 0,00 | | julho | 0,43 | 4,00 | 0,56 |
| | dezembro | 0,47 | 5,00 | 0,28 | | dezembro | 0,59 | 7,30 | 0,05 |
| Fortaleza | fevereiro | 0,46 | 6,00 | 0,13 | Curitiba | fevereiro | 0,44 | 4,00 | 0,56 |
| | maio | 0,50 | 7,50 | 0,04 | | maio | 0,44 | 4,00 | 0,56 |
| | julho | 0,56 | 9,50 | 0,01 | | julho | 0,46 | 4,00 | 0,56 |
| | dezembro | 0,52 | 8,50 | 0,02 | | dezembro | 0,42 | 3,80 | 0,64 |
| Petrolina | fevereiro | 0,53 | 4,00 | 0,56 | Foz do Iguaçu | fevereiro | 0,51 | 6,65 | 0,08 |
| | maio | 0,56 | 5,60 | 0,18 | | maio | 0,53 | 5,72 | 0,16 |
| | julho | 0,55 | 5,90 | 0,14 | | julho | 0,46 | 4,00 | 0,56 |
| | dezembro | 0,54 | 4,90 | 0,30 | | dezembro | 0,50 | 5,95 | 0,14 |
| Salvador | fevereiro | 0,53 | 6,10 | 0,12 | Porto Alegre | fevereiro | 0,51 | 5,80 | 0,15 |
| | maio | 0,50 | 3,87 | 0,61 | | maio | 0,47 | 4,30 | 0,45 |
| | julho | 0,55 | 4,10 | 0,52 | | julho | 0,45 | 4,00 | 0,56 |
| | dezembro | 0,54 | 5,20 | 0,24 | | dezembro | 0,50 | 6,50 | 0,09 |
| São Luiz | fevereiro | 0,37 | 4,40 | 0,42 | S. L. Gonzaga | fevereiro | 0,54 | 6,20 | 0,12 |
| | maio | 0,45 | 7,00 | 0,06 | | maio | 0,54 | 4,60 | 0,37 |
| | julho | 0,50 | 9,00 | 0,01 | | julho | 0,52 | 4,35 | 0,44 |
| | dezembro | 0,47 | 6,70 | 0,08 | | dezembro | 0,57 | 7,50 | 0,04 |

Tabela 10 - Parâmetros utilizados para o modelo de Sarath Babu.

| Localidade | mês | | | | | mês | | |
|----------------|-----------|------|------|----------------|-----------|------|------|--|
| Belém | fevereiro | 0.39 | 0.58 | Campo Grande | fevereiro | 0.50 | 0.50 | |
| | maio | 0.50 | 0.67 | | maio | 0.56 | 0.56 | |
| | julho | 0.57 | 0.72 | | julho | 0.62 | 0.62 | |
| | dezembro | 0.45 | 0.58 | | dezembro | 0.62 | 0.62 | |
| Boa Vista | fevereiro | 0.52 | 0.60 | Cuiabá | fevereiro | 0.48 | 0.48 | |
| | maio | 0.49 | 0.61 | | maio | 0.56 | 0.56 | |
| | julho | 0.52 | 0.63 | | julho | 0.59 | 0.59 | |
| | dezembro | 0.49 | 0.72 | | dezembro | 0.47 | 0.47 | |
| Manaus | fevereiro | 0.39 | 0.61 | Brasília | fevereiro | 0.48 | 0.48 | |
| | maio | 0.46 | 0.64 | | maio | 0.59 | 0.59 | |
| | julho | 0.49 | 0.57 | | julho | 0.64 | 0.64 | |
| | dezembro | 0.40 | 0.67 | | dezembro | 0.41 | 0.41 | |
| Porto Nacional | fevereiro | 0.40 | 0.63 | Rio Verde | fevereiro | 0.44 | 0.44 | |
| | maio | 0.55 | 0.66 | | maio | 0.50 | 0.50 | |
| | julho | 0.59 | 0.78 | | julho | 0.56 | 0.56 | |
| | dezembro | 0.45 | 0.63 | | dezembro | 0.42 | 0.42 | |
| Bom Jesus | fevereiro | 0.50 | 0.62 | Belo Horizonte | fevereiro | 0.47 | 0.47 | |
| | maio | 0.60 | 0.79 | | maio | 0.54 | 0.54 | |
| | julho | 0.63 | 0.74 | | julho | 0.58 | 0.58 | |
| | dezembro | 0.46 | 0.63 | | dezembro | 0.38 | 0.38 | |
| Caravelas | fevereiro | 0.53 | 0.72 | Rio de Janeiro | fevereiro | 0.57 | 0.74 | |
| | maio | 0.51 | 0.70 | | maio | 0.52 | 0.69 | |
| | julho | 0.52 | 0.69 | | julho | 0.54 | 0.75 | |
| | dezembro | 0.48 | 0.66 | | dezembro | 0.47 | 0.65 | |
| Carolina | fevereiro | 0.40 | 0.59 | São Paulo | fevereiro | 0.43 | 0.66 | |
| | maio | 0.57 | 0.78 | | maio | 0.45 | 0.64 | |
| | julho | 0.61 | 0.81 | | julho | 0.48 | 0.67 | |
| | dezembro | 0.39 | 0.63 | | dezembro | 0.39 | 0.59 | |
| Florianópolis | fevereiro | 0.45 | 0.62 | Bagé | fevereiro | 0.53 | 0.64 | |
| | maio | 0.59 | 0.72 | | maio | 0.57 | 0.69 | |
| | julho | 0.65 | 0.82 | | julho | 0.43 | 0.63 | |
| | dezembro | 0.47 | 0.68 | | dezembro | 0.59 | 0.75 | |
| Fortaleza | fevereiro | 0.46 | 0.68 | Curitiba | fevereiro | 0.44 | 0.62 | |
| | maio | 0.50 | 0.73 | | maio | 0.44 | 0.64 | |
| | julho | 0.56 | 0.77 | | julho | 0.46 | 0.64 | |
| | dezembro | 0.52 | 0.78 | | dezembro | 0.42 | 0.58 | |
| Petrolina | fevereiro | 0.53 | 0.61 | Foz do Iguaçu | fevereiro | 0.51 | 0.74 | |
| | maio | 0.56 | 0.57 | | maio | 0.53 | 0.69 | |
| | julho | 0.55 | 0.61 | | julho | 0.46 | 0.61 | |
| | dezembro | 0.54 | 0.71 | | dezembro | 0.50 | 0.71 | |
| Salvador | fevereiro | 0.53 | 0.71 | Porto Alegre | fevereiro | 0.51 | 0.71 | |
| | maio | 0.50 | 0.63 | | maio | 0.47 | 0.67 | |
| | julho | 0.55 | 0.58 | | julho | 0.45 | 0.57 | |
| | dezembro | 0.54 | 0.67 | | dezembro | 0.50 | 0.73 | |
| São Luiz | fevereiro | 0.37 | 0.60 | S. L. Gonzaga | fevereiro | 0.54 | 0.73 | |
| | maio | 0.45 | 0.68 | | maio | 0.54 | 0.68 | |
| | julho | 0.50 | 0.76 | | julho | 0.52 | 0.68 | |
| | dezembro | 0.47 | 0.73 | | dezembro | 0.57 | 0.76 | |

Apresentaremos a seguir uma análise concisa de desempenho dos modelos para localidades brasileiras. Esta análise foi realizada para seis localidades representativas da

climatologia brasileira especificadas na tabela 11 .

Os resultados referentes à análise de desempenho para as outras localidades estão nos anexos A, B e C deste trabalho.

Tabela 11 - Localidades representativas da climatologia brasileira

| Localidade | Clima | Altitude (m) | Latitude (°) | Longitude(°) | Período |
|--------------|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|-----------|
| Belém | Equatorial | 4,80 | 1:27 S | 48:28 O | 1978-1987 |
| Boa Vista | Tropical (zona equatorial) | 90,00 | 2:49 S | 60:39 O | 1980-1989 |
| Petrolina | Tropical (zona equatorial) | 370,46 | 9:23 S | 40:30 O | 1978-1989 |
| Salvador | Tropical (Nordeste Oriental) | 21,41 | 13:00 S | 38:31 O | 1978-1989 |
| Cuiabá | Tropical (Brasil Central) | 178,87 | 15:33 S | 56:07 O | 1978-1989 |
| Porto Alegre | Temperado | 46,97 | 30:01S | 51:13 O | 1978-1990 |

3.2 Comparação dos dados experimentais com os modelos para $F(K_t)$

As figuras de 15 a 22 mostram que, com exceção de Porto Alegre, o modelo proposto por Saunier foi o que apresentou melhores resultados para as localidades, pois mesmo quando este não obteve o melhor desempenho em determinado mês, a diferença dos desvios (DPP), em relação ao melhor modelo, não foi significativa conforme pode ser verificado na tabela 12 .

Para a cidade de Porto Alegre, o modelo de Hollands e Huget foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais .

A análise fundamentada na razão dos desvios (RD) e no coeficiente de massa residual (CMR), comprova que os modelos apresentaram bons desempenho pois de uma maneira geral RD tende a 1 (um) e CMR se aproxima de 0 (zero) ,como pode ser constatado com os valores apresentados na tabela 13 .

Estes resultados também foram verificados para as demais localidades estudadas,

conforme podem ser vistos nas figuras 27 a 50 (anexo A) e quadros 1 a 5 (anexo B) deste trabalho .

Tabela 12- Desvio padrão ponderado (DPP) em relação a F(X)

| Localidade | Mês | $\bar{K}t$ | Modelo | | | |
|--------------|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | Sarath Babu | Bendt | Hollands | Saunier |
| Belém | Fevereiro | 0,39 | 0,03 | 0,07 | 0,06 | 0,04 |
| | maio | 0,50 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,01 |
| | julho | 0,57 | 0,08 | 0,12 | 0,12 | 0,03 |
| | dezembro | 0,45 | 0,06 | 0,09 | 0,09 | 0,05 |
| Boa Vista | Fevereiro | 0,52 | 0,08 | 0,09 | 0,09 | 0,02 |
| | maio | 0,49 | 0,03 | 0,05 | 0,06 | 0,03 |
| | julho | 0,52 | 0,03 | 0,05 | 0,05 | 0,03 |
| | dezembro | 0,49 | 0,07 | 0,10 | 0,10 | 0,02 |
| Petrolina | Fevereiro | 0,53 | 0,05 | 0,04 | 0,05 | 0,05 |
| | maio | 0,56 | 0,05 | 0,08 | 0,09 | 0,04 |
| | julho | 0,55 | 0,03 | 0,06 | 0,07 | 0,03 |
| | dezembro | 0,54 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,03 |
| Salvador | Fevereiro | 0,53 | 0,05 | 0,02 | 0,05 | 0,02 |
| | maio | 0,50 | 0,05 | 0,07 | 0,07 | 0,04 |
| | julho | 0,55 | 0,03 | 0,05 | 0,06 | 0,04 |
| | dezembro | 0,54 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,01 |
| Cuiabá | Fevereiro | 0,48 | 0,04 | 0,06 | 0,07 | 0,02 |
| | maio | 0,56 | 0,06 | 0,02 | 0,03 | 0,01 |
| | julho | 0,59 | 0,10 | 0,08 | 0,09 | 0,02 |
| | dezembro | 0,47 | 0,03 | 0,05 | 0,06 | 0,03 |
| Porto Alegre | Fevereiro | 0,51 | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 0,03 |
| | maio | 0,47 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,05 |
| | julho | 0,45 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,06 |
| | dezembro | 0,50 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,06 |

* Estão destacados em negrito os menores valores do DPP, de um mesmo mês para cada localidade.

Tabela 13 - Razão dos desvios (RD) e coeficiente de massa residual (CMR)

| Localidade | Mês | RD | CMR | Localidade | Mês | RD | CMR |
|------------|-----------|-------|--------|--------------|-----------|-------|-------|
| Belém | fevereiro | 1,117 | 0,187 | Salvador | fevereiro | 0,854 | 0,033 |
| | maio | 0,990 | 0,041 | | maio | 0,947 | 0,179 |
| | julho | 0,950 | 0,064 | | julho | 0,990 | 0,123 |
| | dezembro | 1,391 | 0,226 | | dezembro | 0,911 | 0,070 |
| Boa Vista | fevereiro | 0,972 | 0,048 | Cuiabá | fevereiro | 0,971 | 0,073 |
| | maio | 0,949 | 0,125 | | maio | 0,836 | 0,007 |
| | julho | 0,824 | 0,143 | | julho | 0,909 | 0,011 |
| | dezembro | 1,057 | 0,051 | | dezembro | 0,929 | 0,164 |
| Petrolina | fevereiro | 0,879 | 0,200 | Porto Alegre | fevereiro | 1,446 | 0,026 |
| | maio | 1,197 | 0,067 | | maio | 1,256 | 0,008 |
| | julho | 1,006 | 0,076 | | julho | 1,075 | 0,013 |
| | dezembro | 0,993 | -0,087 | | dezembro | 1,270 | 0,017 |

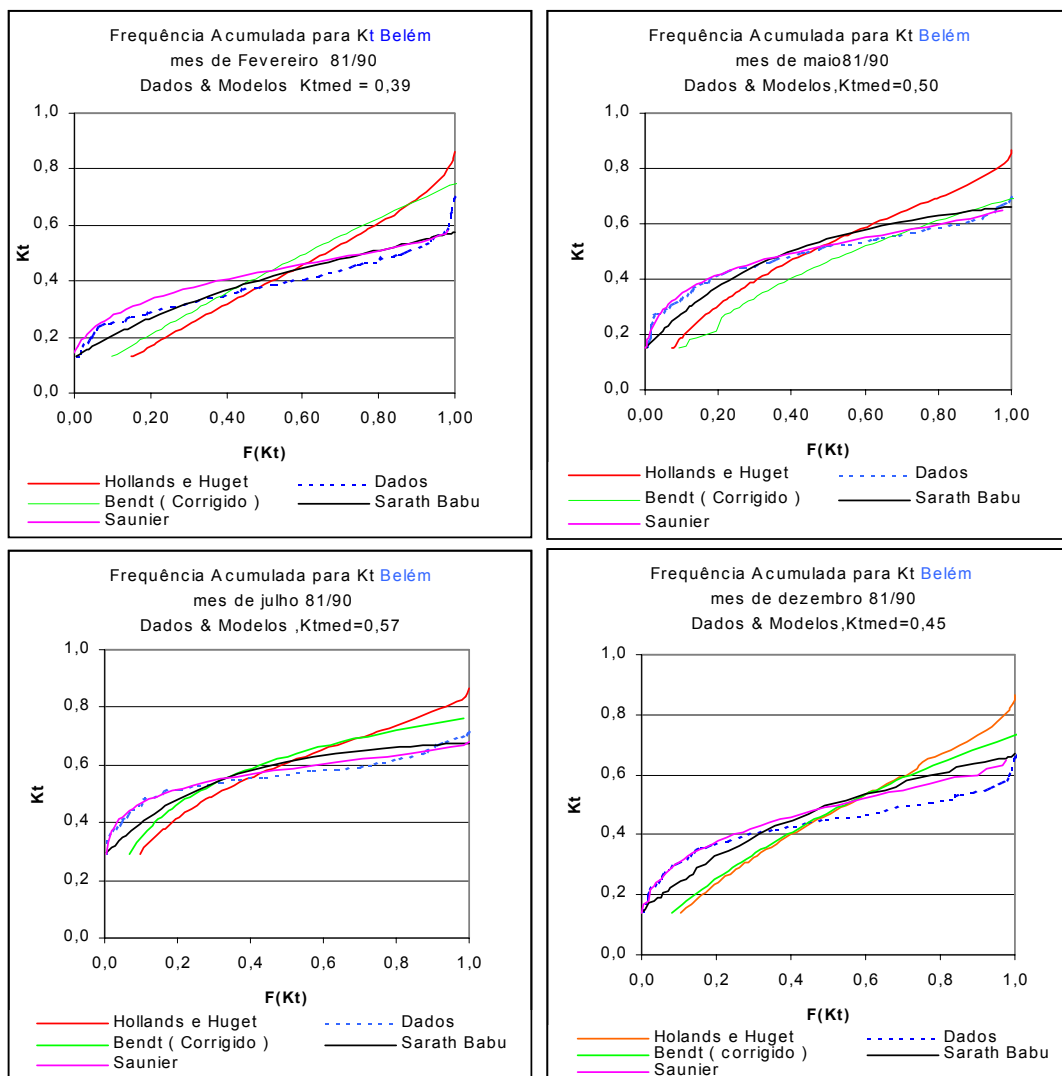


Figura 15 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Belém

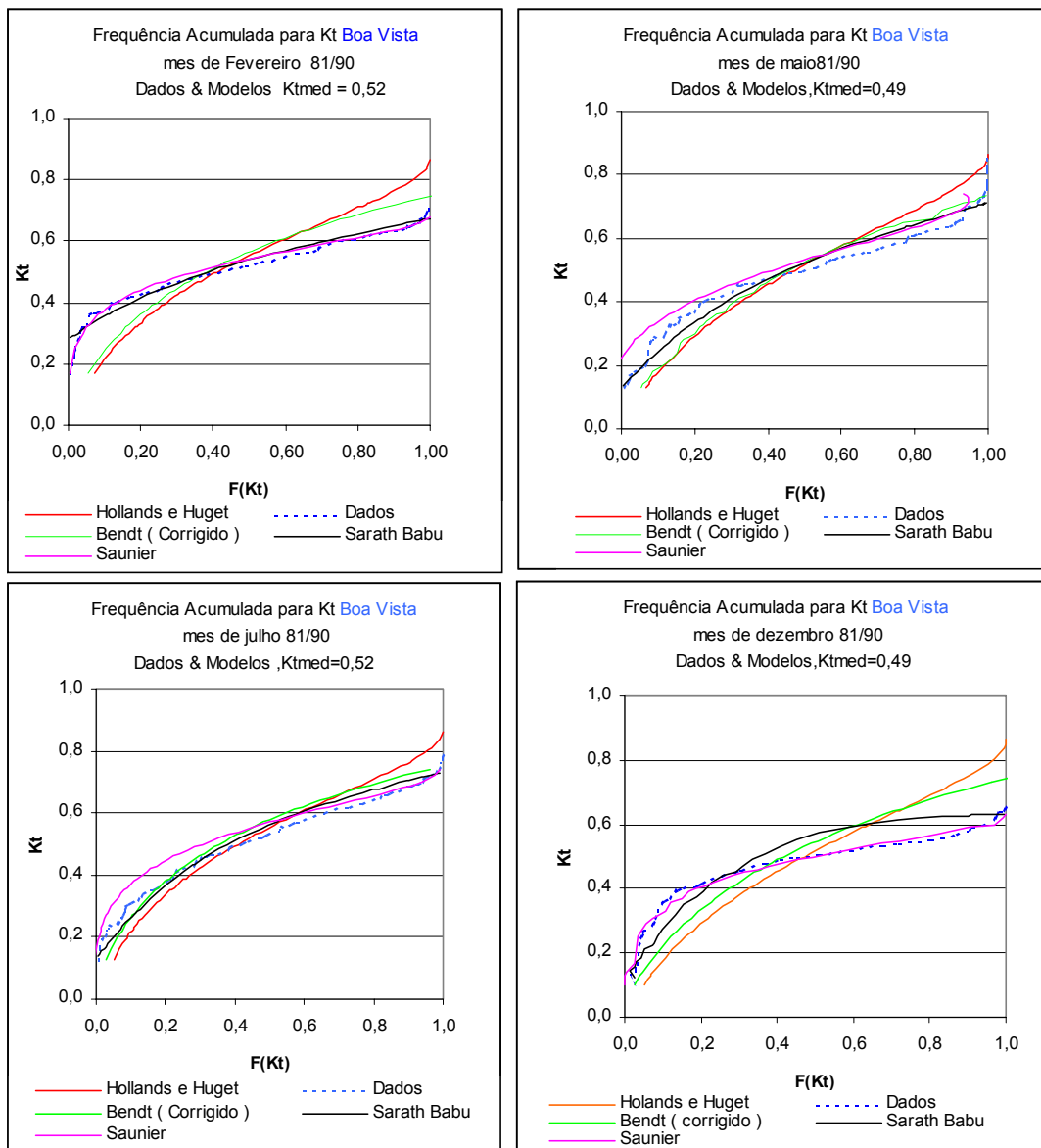


Figura 16 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Boa Vista

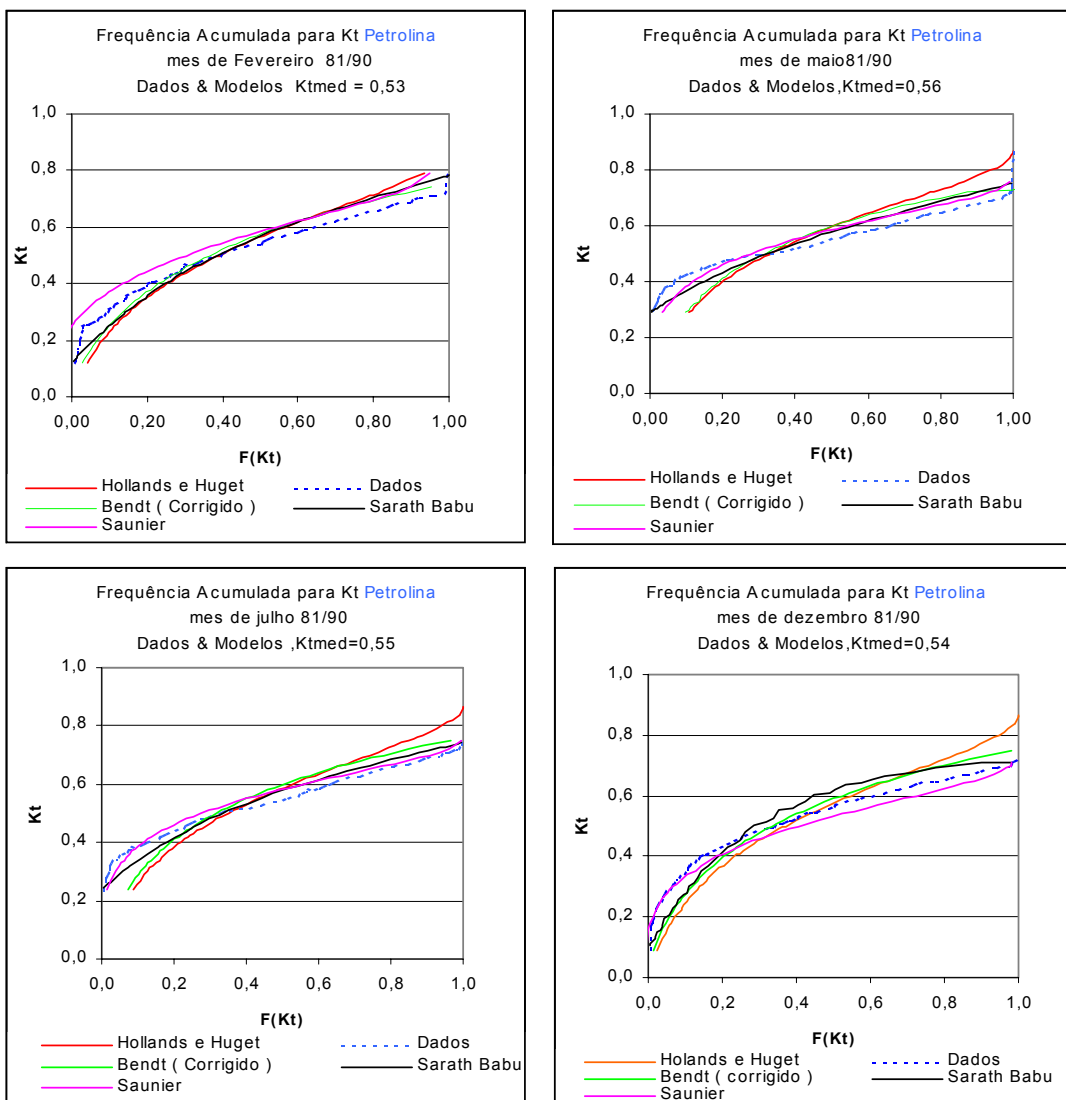


Figura 17 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Petrolina

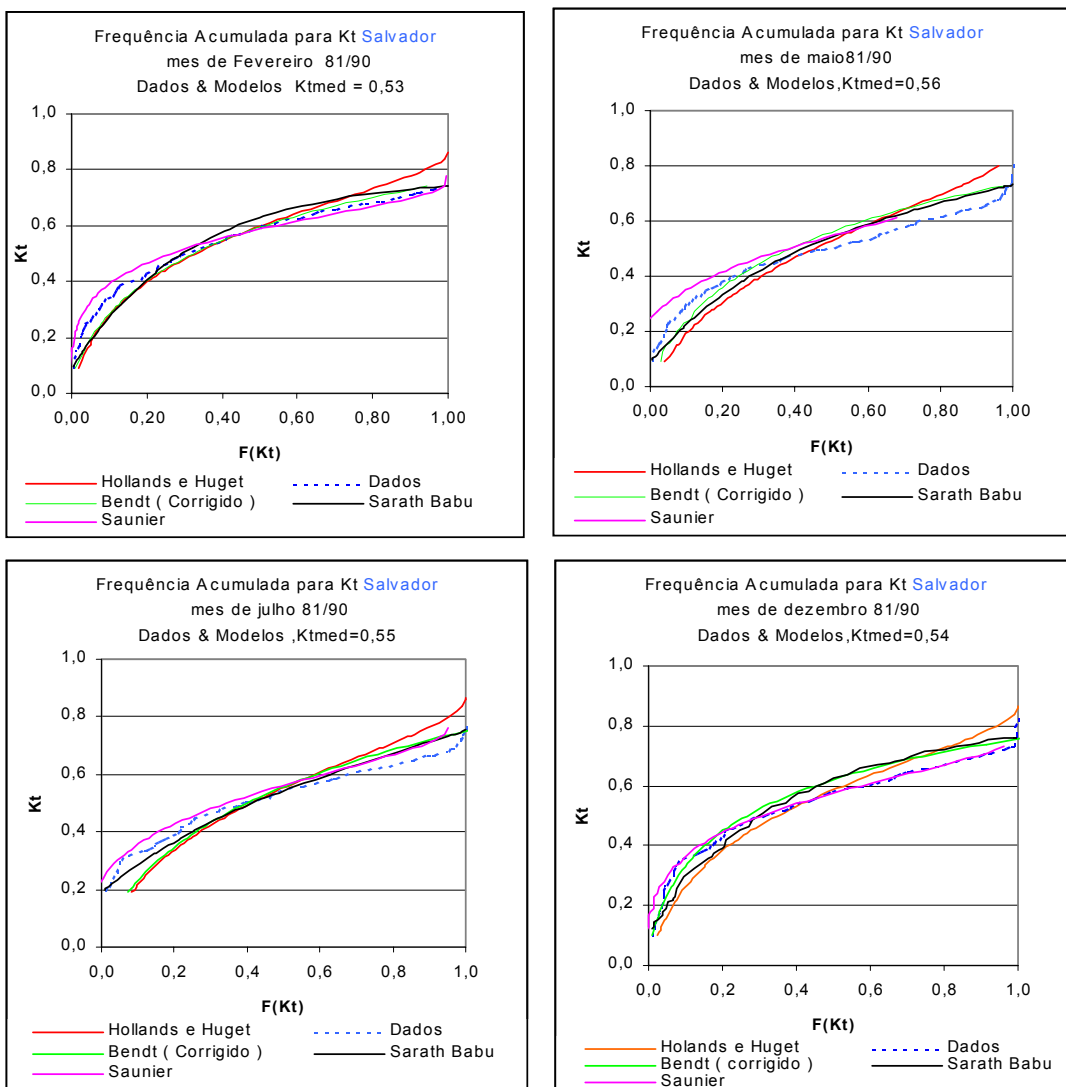


Figura 18 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Salvador

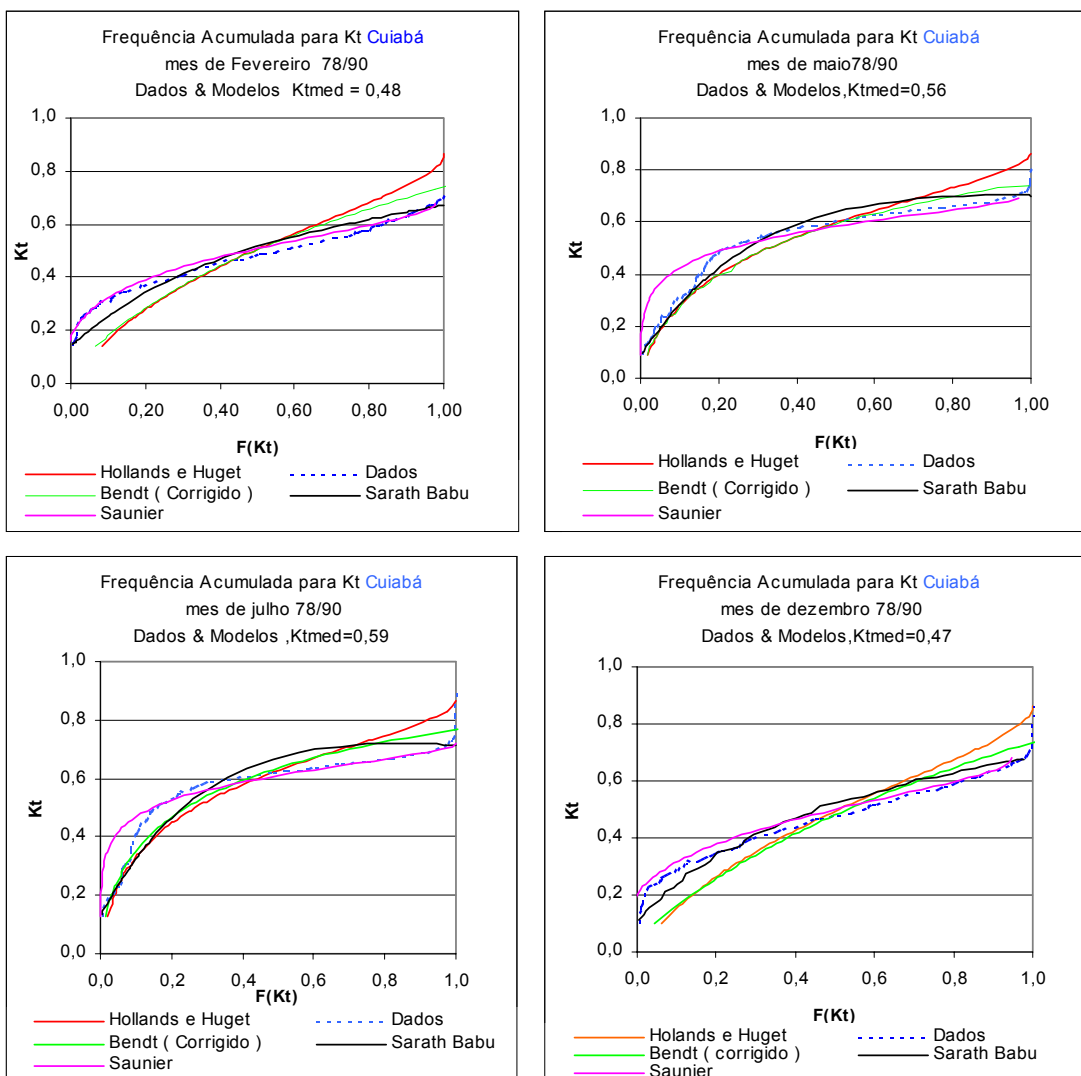


Figura 19 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Cuiabá.

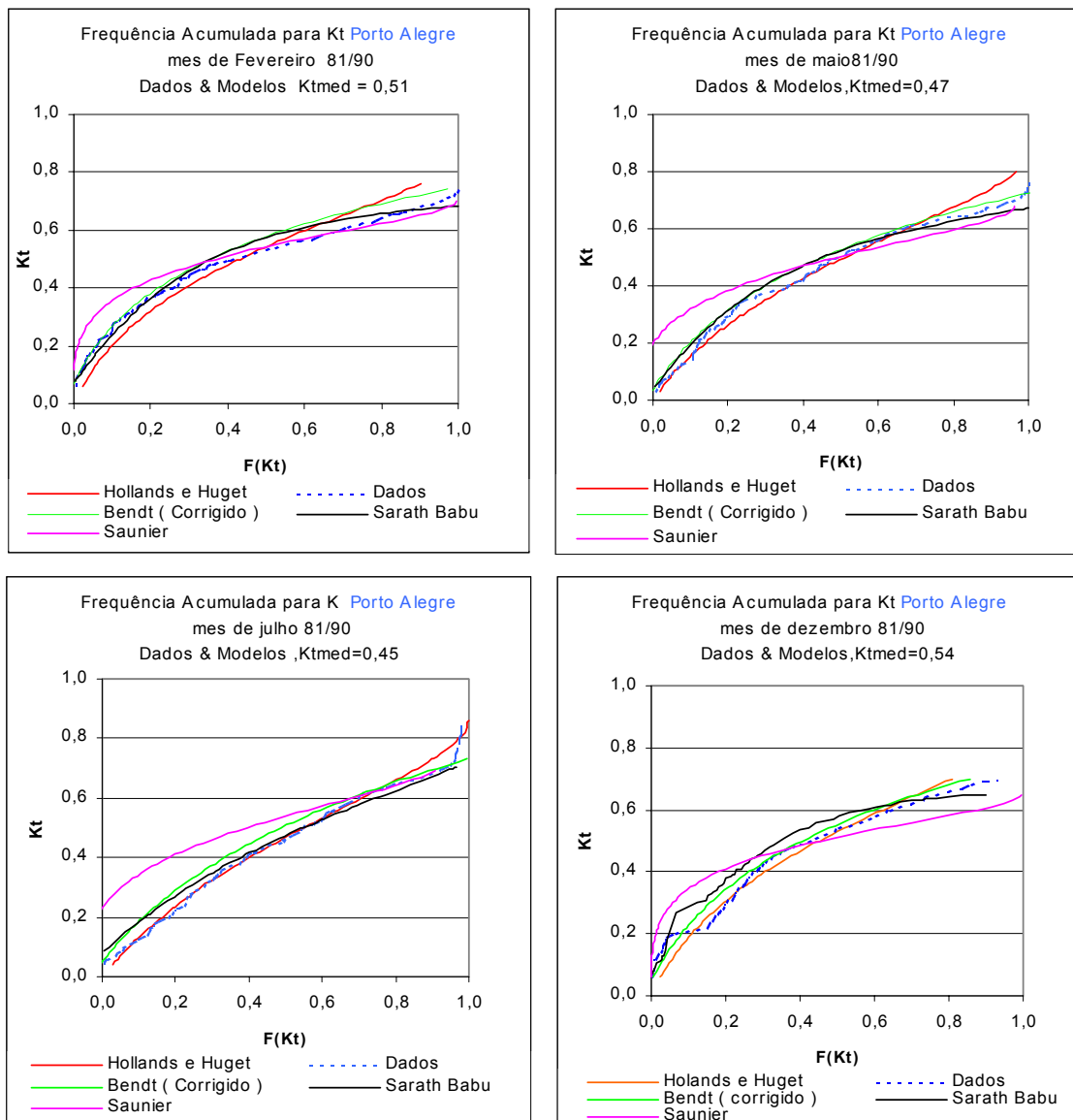


Figura 20 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Porto Alegre

3.3 Comparação dos dados experimentais com os modelos para $f(K_t)$

Quanto ao ajuste de $f(X)$, em relação aos dados experimentais para o meses de fevereiro, maio, julho e dezembro, verificamos que:

- Os resultados indicaram que de uma maneira geral os modelos não apresentaram um bom ajuste aos dados experimentais.
- O modelo de Saunier além de apresentar uma distribuição similar aos valores experimentais, estima $f(K_t) = 0$ para regiões onde K_t se aproxima de zero, foi o que apresentou melhores resultados, principalmente quando os dados experimentais possuem uma distribuição assimétrica à esquerda, uma vez que o ponto máximo de $f(X)$ estimado pelo modelo ocorre numa faixa de valores de X que varia entre 0,81 (mês de maio para Boa Vista) e 0,91 (mês de julho em Belém).
- Para localidades de clima temperado o modelo de Hollands e Hugett apresentou melhor desempenho.
- O modelo de Bendt estima um crescimento exponencial, o que não é verificado experimentalmente.
- Os modelos propostos por Hollands e Sarath Babu, figuras 21 a 26, estimam valores não nulos de $f(X)$ para regiões onde K_t se aproxima de zero.
- Os resultados acima também são verificados para as demais localidades, representadas graficamente nas figuras 51 a 74 do anexo C deste trabalho.

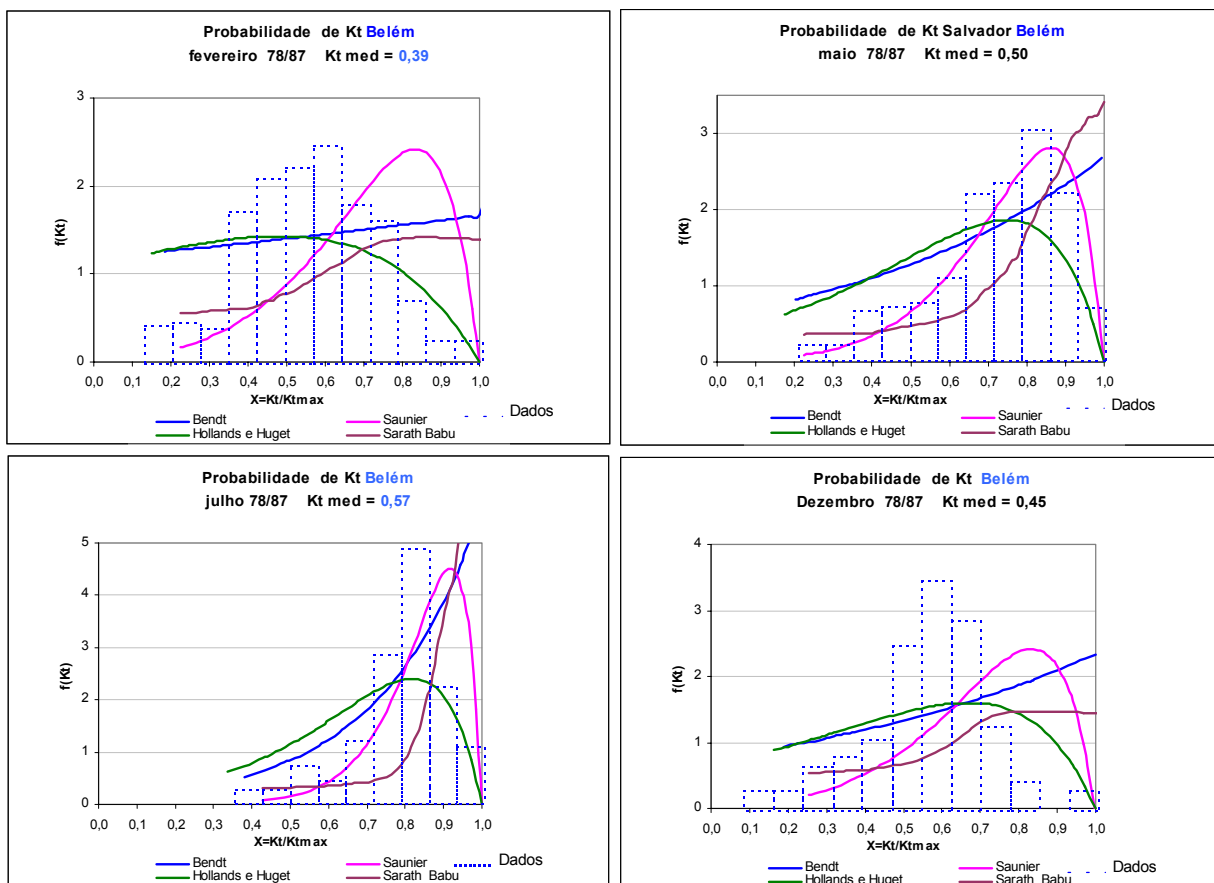


Figura 21 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Belém

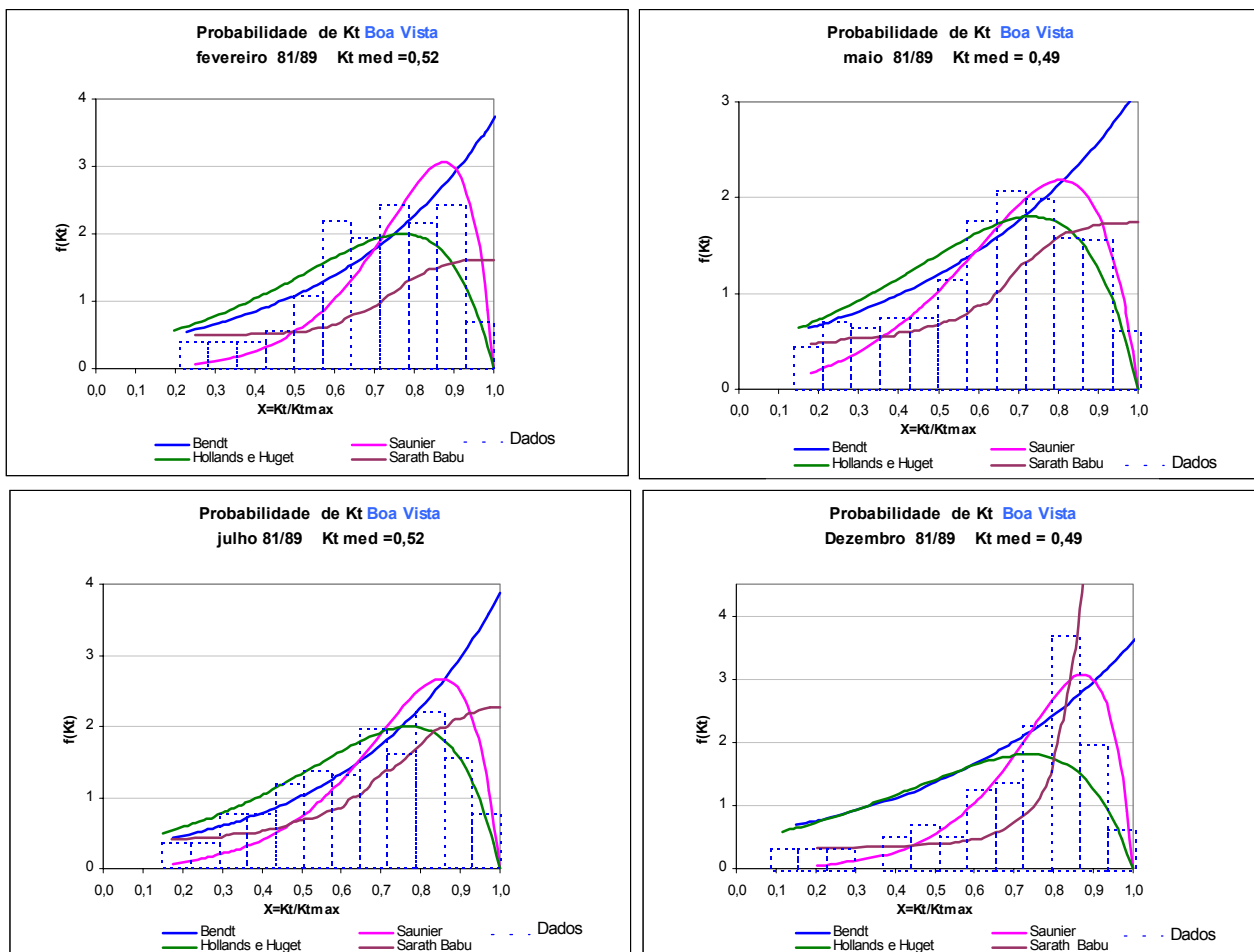


Figura 22 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Boa Vista,

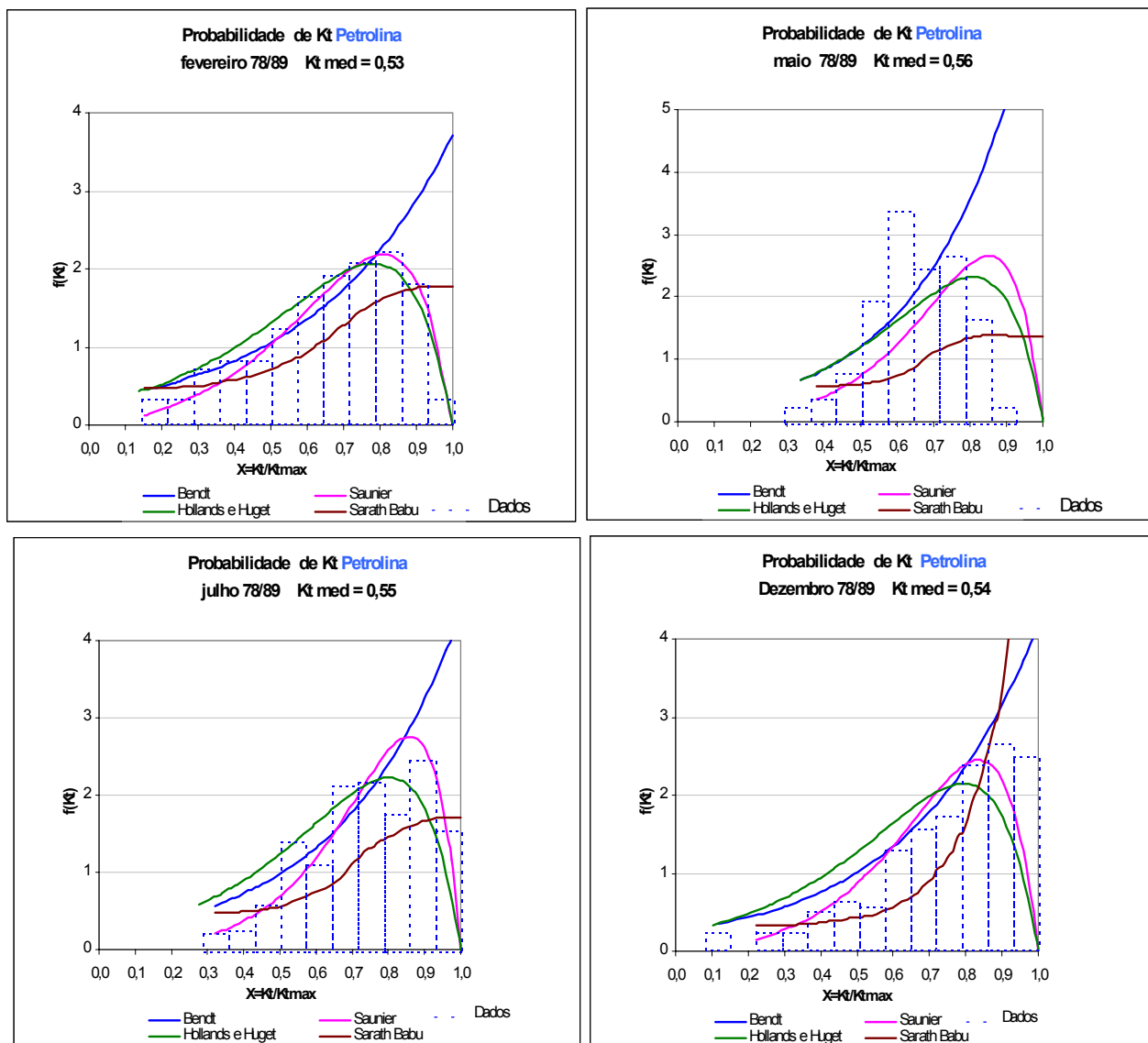


Figura 23 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Petrolina

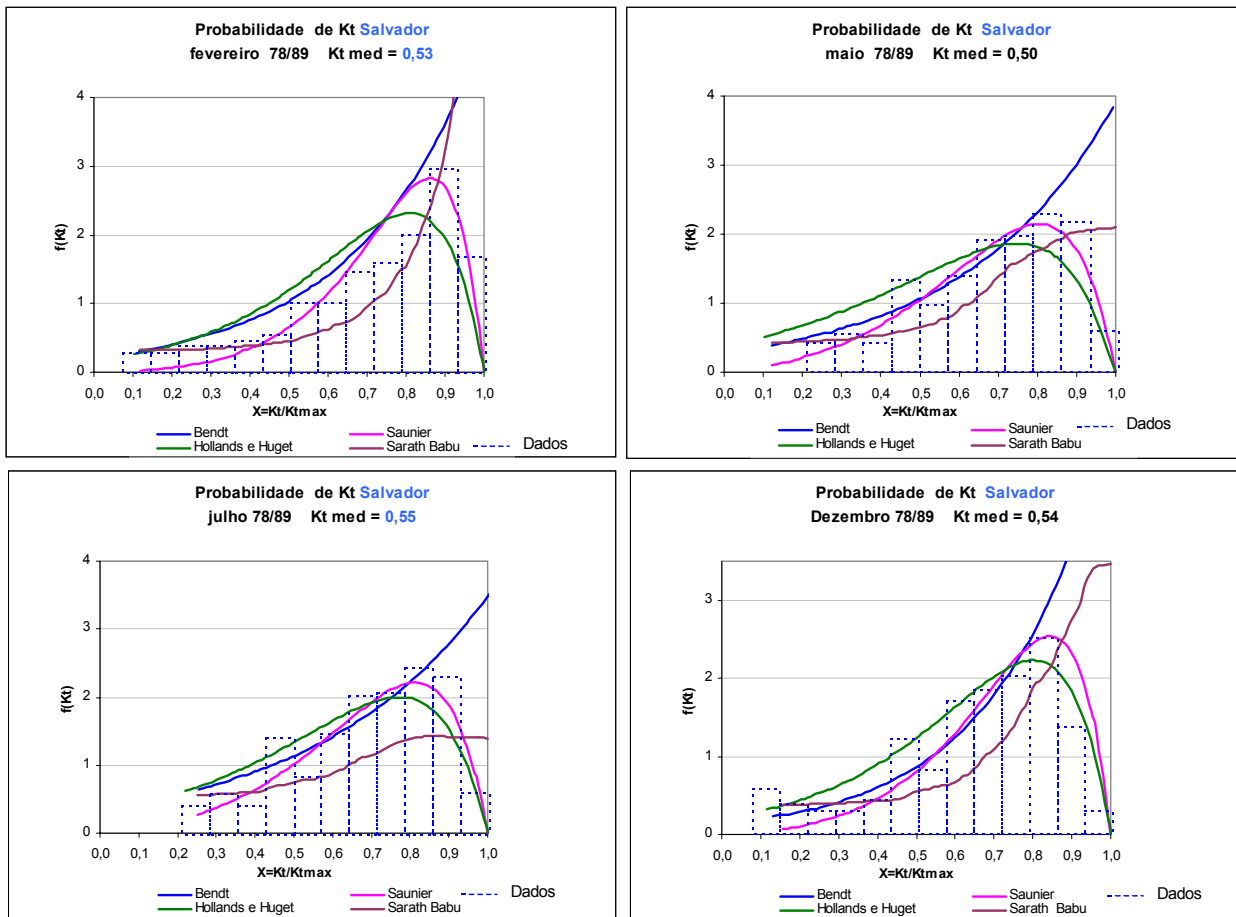


Figura 24 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Salvador

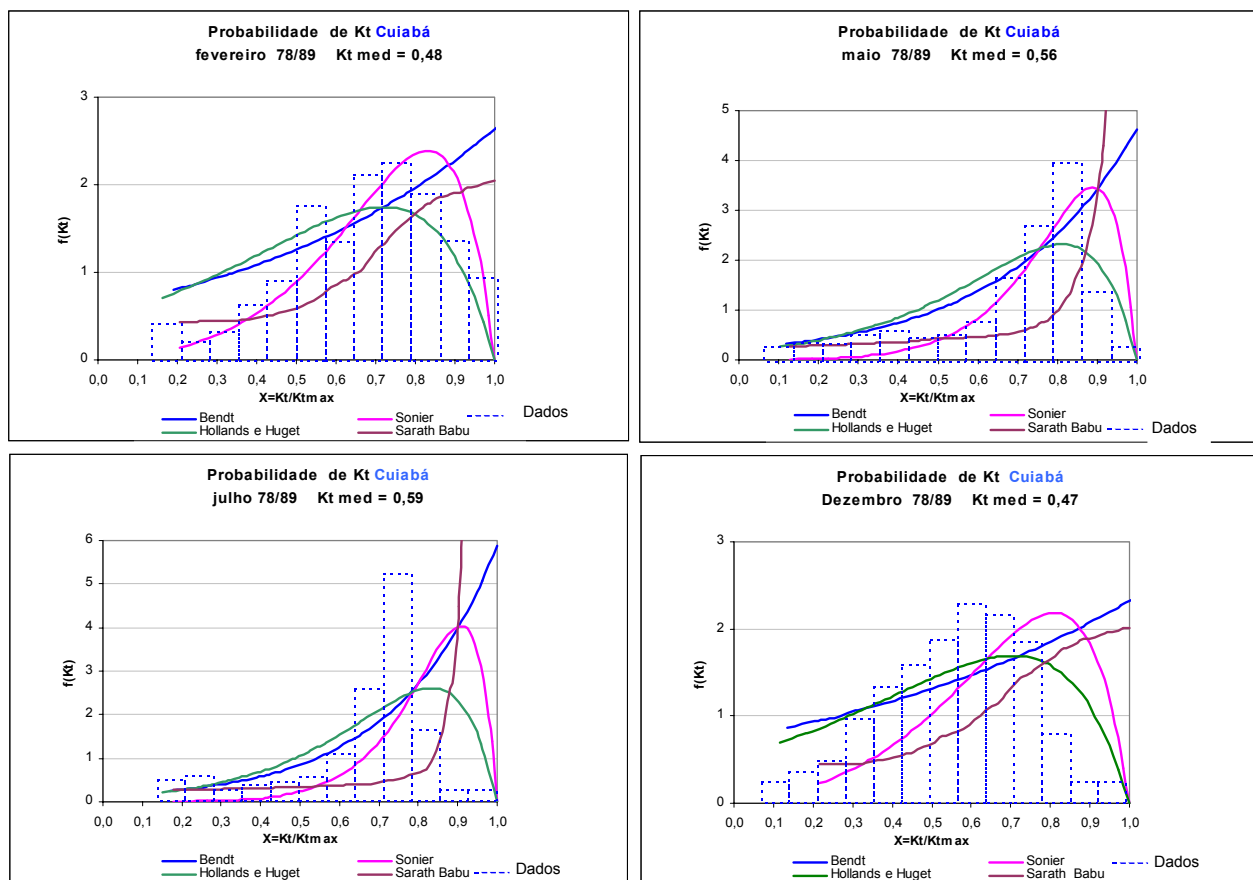


Figura 25 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Cuiabá

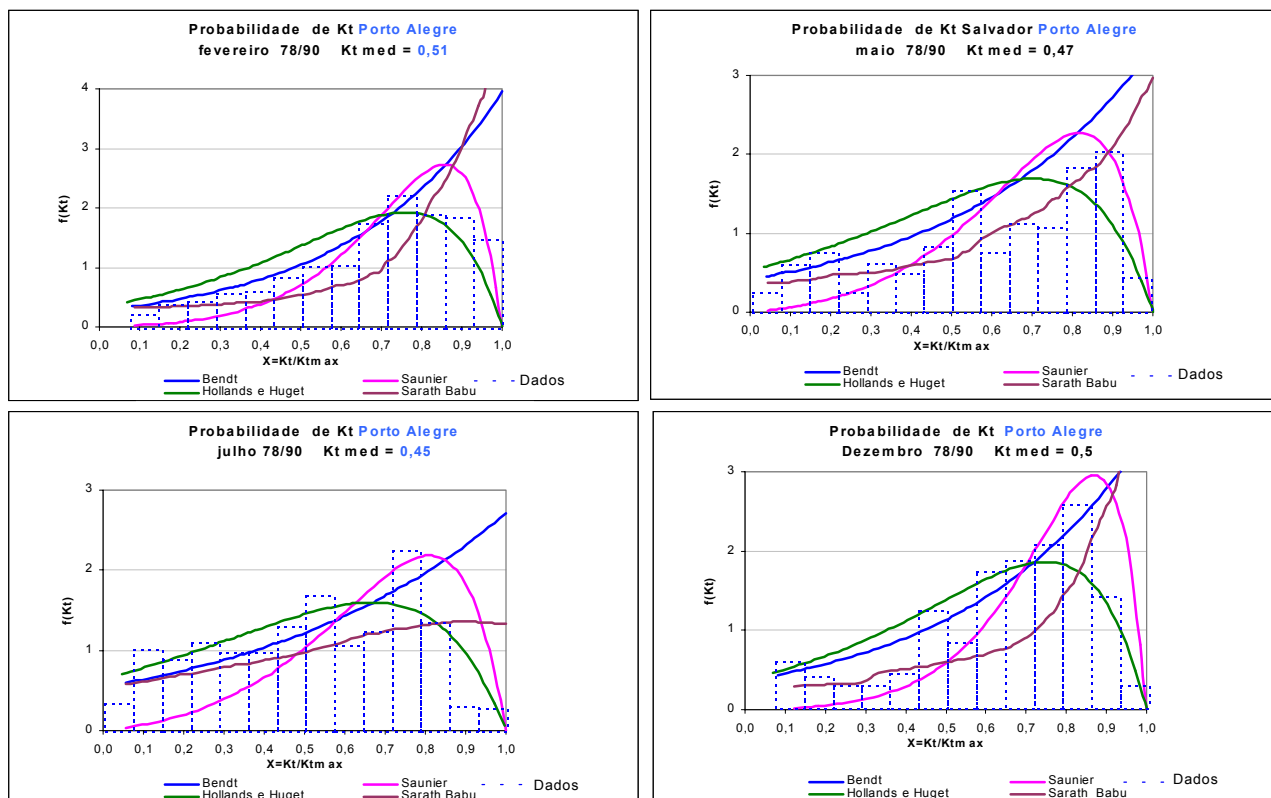


Figura 26 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Porto Alegre

4. CONCLUSÕES

Este estudo ratifica as conclusões obtidas anteriormente por Saunier quanto ao caráter local do comportamento das distribuições de probabilidade, na medida que foram observadas diferenças significativas em relação às análises realizadas no hemisfério Norte .

Este trabalho mostra ainda que a universalidade proposta por Sarath Babu não se verifica para o Brasil.

Com relação ao comportamento dos modelos para as localidades brasileiras analisadas observamos que de uma maneira geral, o modelo proposto por Saunier foi também o que apresentou melhores resultados para estimativas da função distribuição acumulada $F(X)$, menos para as localidades de clima temperado onde os melhores resultados foram estabelecidos pelo modelo proposto por Hollands e Huget .

Quando da verificação dos desempenhos dos modelos para a estimativa da função densidade de probabilidade $f(X)$ verificou-se que o modelo proposto por Saunier foi o que apresentou melhores resultados, principalmente quando os dados experimentais possuem uma distribuição assimétrica à esquerda , uma vez que o ponto máximo de $f(X)$ estimado pelo modelo ocorre numa faixa de valores de X que varia entre 0,81 (mês de maio para Boa Vista) e 0,91 (mês de julho em Belém).

Verificamos que o modelo de Saunier apresenta problemas quando assume valores menores que 0,4 , estimando valores negativos para a função de distribuição acumulada.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS :

ABRAMOWTZ, M. & STEGUN, I. A. Handbook of Mathematical Functions Dover Publications. New York, P. 930 (1972).

BABU, K. S. & SATYAMURTY, V. V. Frequency distribution of daily clearness indices through generalized parameters. Solar Energy, 70, pp. 35-43. (1987).

BENDT, P; COLLARES, M; RABL, A. The Frequency Distribution of Daily Insolation Values. Solar Energy 27, pp. 1-5 (1981).

FRAIDENRAICH, N. & COSTA, H. S. Procedure for the determination of the maximum surface which can be irrigated by a photovoltaic pumping system. Solar Wind Technol., 2, 121, (1988).

FRAIDENRAICH, N. & VILELA, O. C. Performance of Solar Systems With Non-linear Behavior Calculated by The Utilizability Method: Application to PV Solar Pumps. Solar Energy, 69, pp. 131-137, (2000).

GORDON, J. & ZARMI, Y. A new approach to the utilizability function. Solar Word Congress, proceedings 8th ISES Congress, Szokolay S. V. (Ed.), pp. 2240, (1983).

HOLLANDS, K. G. T. & HUGET, R. G. A probability density function for the clearness index with applications. Solar Energy, 30, pp. 235-253, (1982).

JURADO, M.; CARIDAD, J. M.; RUIZ, V. Statistical distribution of the clearness index with radiation data integrated over five minute intervals. *Solar Energy*, 55, pp. 469-473, (1995).

LIU, B. Y. & JORDAN, R. C. The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and solar radiation. *Solar Energy*, 4, pp. 1-19, (1960).

LOXSOM, F. & DURONGKAVEROJ, P. Estimating the performance of a photovoltaic pumping system. *Solar Energy*, 52, 215, (1994).

MACAGNAN, M. H. Estudo de modelos de sintetização de dados de radiação solar. Dissertação do Programa de Pós Graduação da UFRGS, Porto Alegre, (1989).

SAUNIER, G. Y.; REDDY, A.; KUMAR, S. A monthly probability distribution function of daily global irradiation values appropriate for both tropical and temperate locations. *Solar Energy*, 38, pp. 169-177, (1987).

TIBA, C. Relações Geométricas Terra-sol. Notas de aulas, (2001a).

TIBA, C. Atlas solarimétrico para localidades brasileiras. Editora Universitária UFPE, Recife, (2001b).

6. ANEXOS

ANEXO A

**DESEMPENHO DOS MODELOS ESTUDADOS PARA
ESTIMAR A FUNÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO ACUMULADA
 $F(x)$, EM 24 LOCALIDADES BRASILEIRAS .**

LISTA DE FIGURAS

| | | Página |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Figura 27 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Belém | 77 |
| Figura 28 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Boa Vista | 78 |
| Figura 29 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Manaus..... | 79 |
| Figura 30 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Porto Nacional..... | 80 |
| Figura 31 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Bom Jesus..... | 81 |
| Figura 32 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Caravelas..... | 82 |
| Figura 33 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Carolina..... | 83 |
| Figura 34 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Floriano..... | 84 |
| Figura 35 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Fortaleza..... | 85 |
| Figura 36 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Petrolina..... | 86 |
| Figura 37 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Salvador..... | 87 |
| Figura 38 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de São Luiz..... | 88 |
| Figura 39 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Brasília..... | 89 |
| Figura 40 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Campo Grande..... | 90 |
| Figura 41 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Cuiabá..... | 91 |
| Figura 42 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Rio Verde..... | 92 |
| Figura 42 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Belo Horizonte..... | 93 |
| Figura 44 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade do Rio de Janeiro..... | 94 |
| Figura 45 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de São Paulo..... | 95 |
| Figura 46 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Bagé..... | 96 |
| Figura 47 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Curitiba..... | 97 |
| Figura 48 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Foz de Iguaçu..... | 98 |
| Figura 49 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Porto Alegre..... | 99 |
| Figura 50 | Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de S. L. Gonzaga..... | 100 |

Região Norte

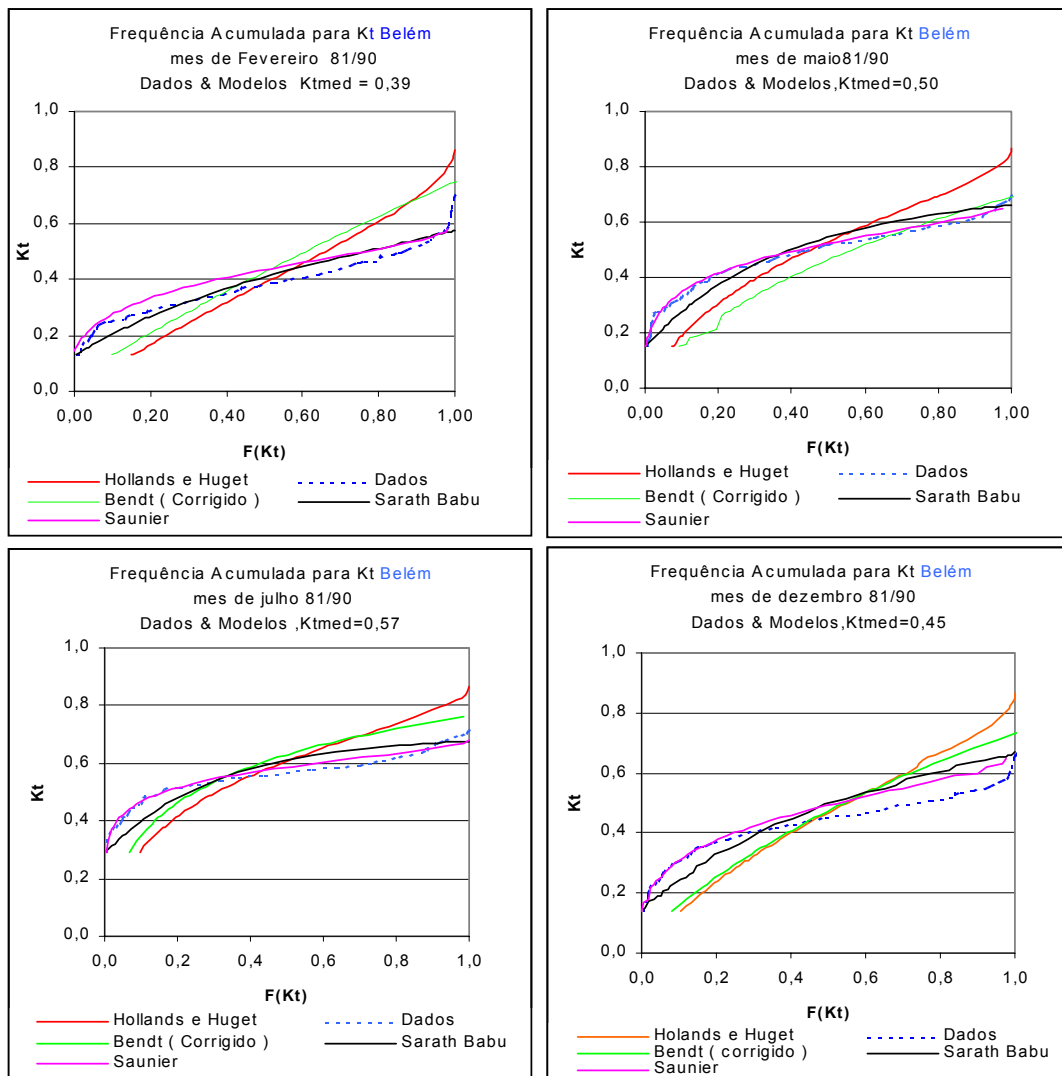


Figura 27 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Belém

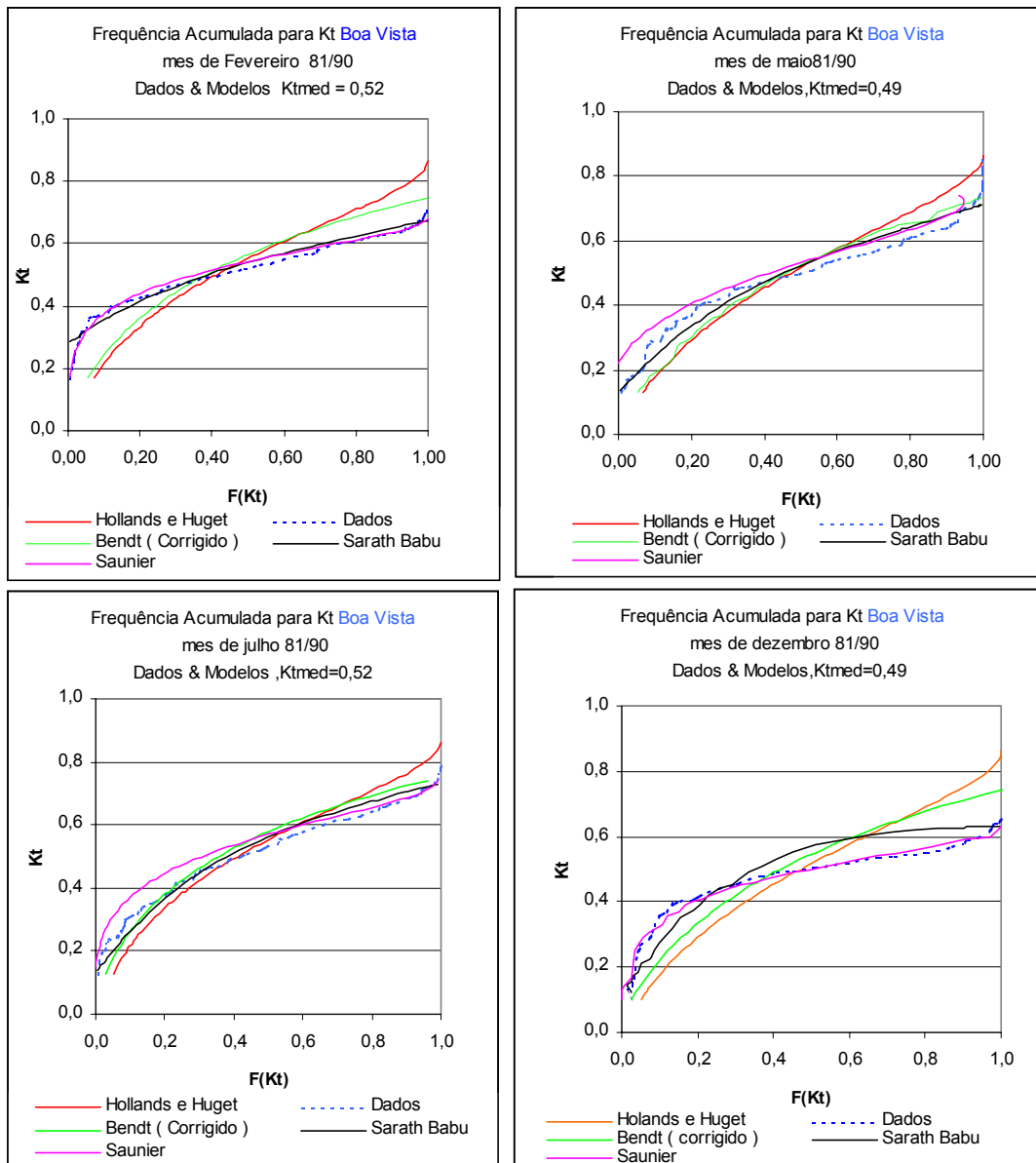


Figura 28 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Boa Vista

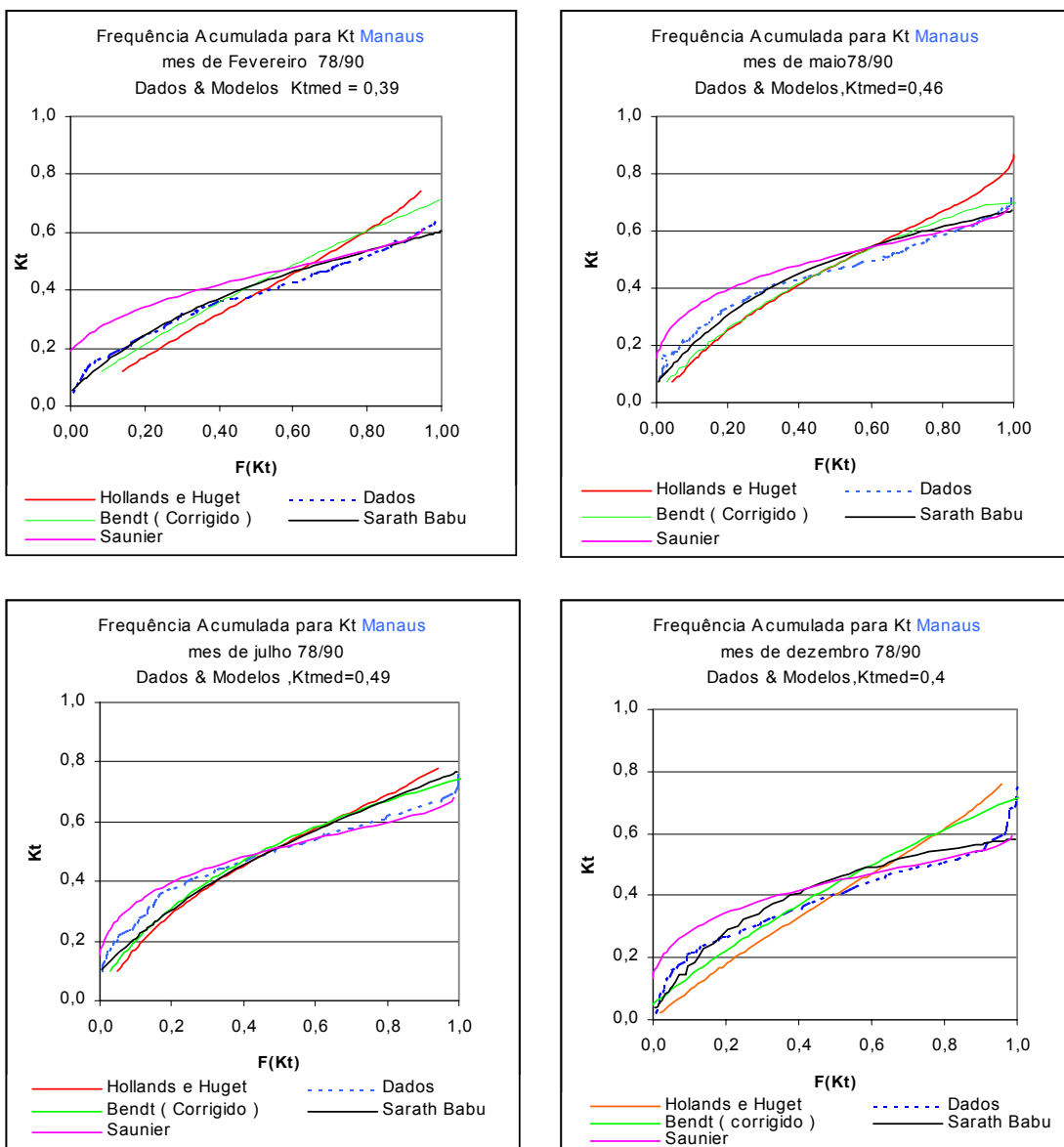


Figura 29- Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Manaus.

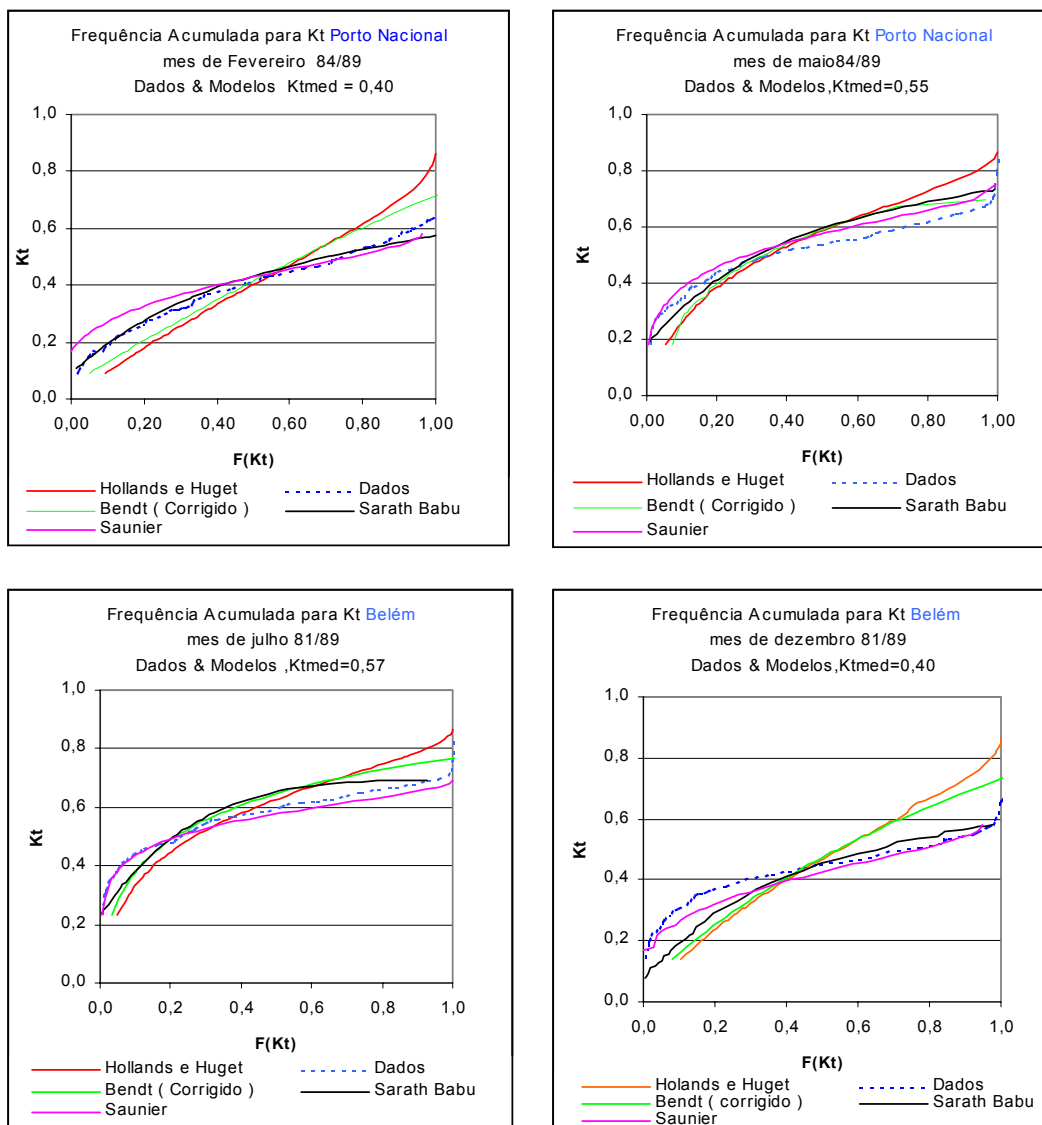


Figura 30. Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Porto Nacional.

REGIÃO NORDESTE

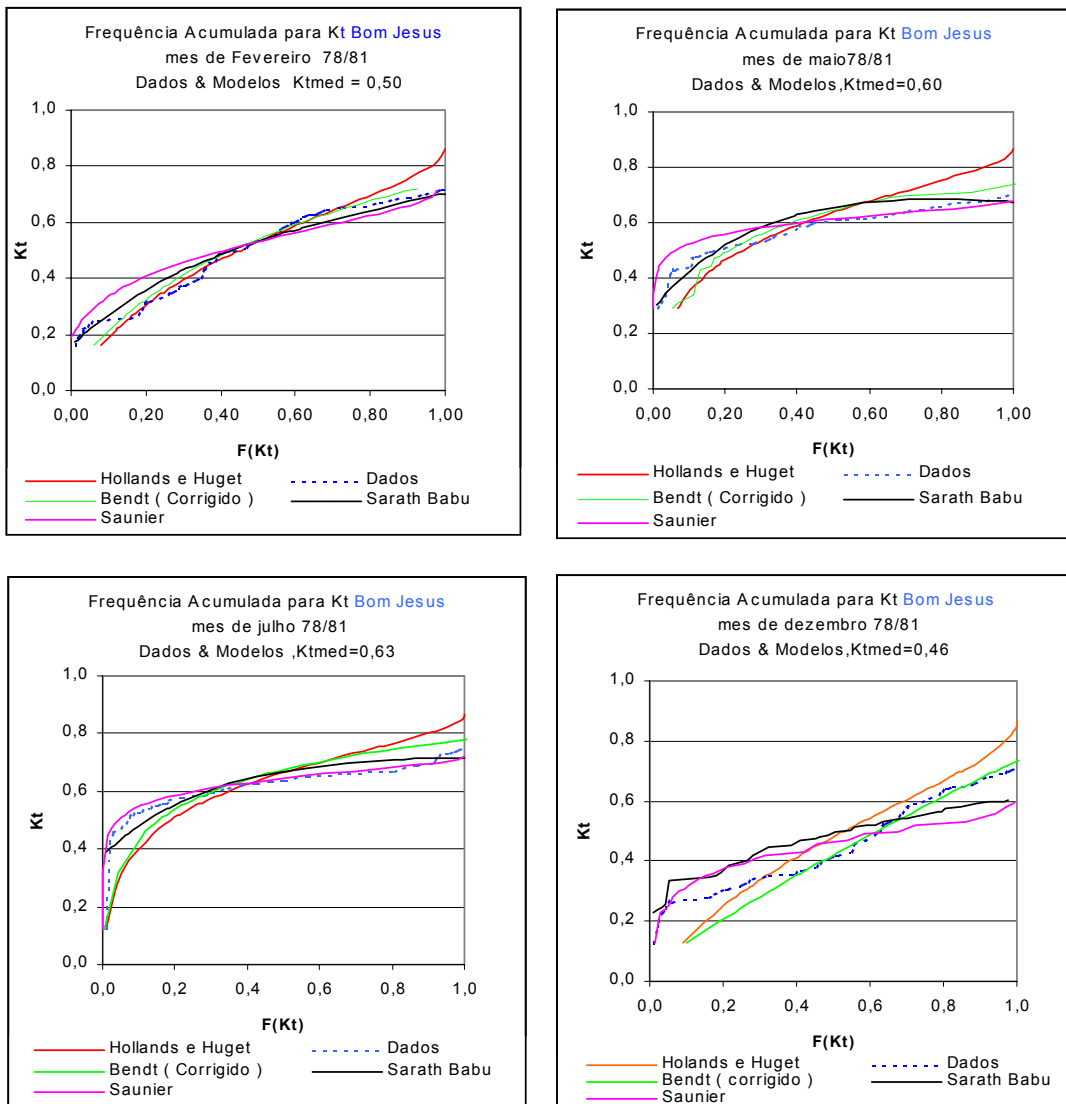


Figura 31 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Bom Jesus.

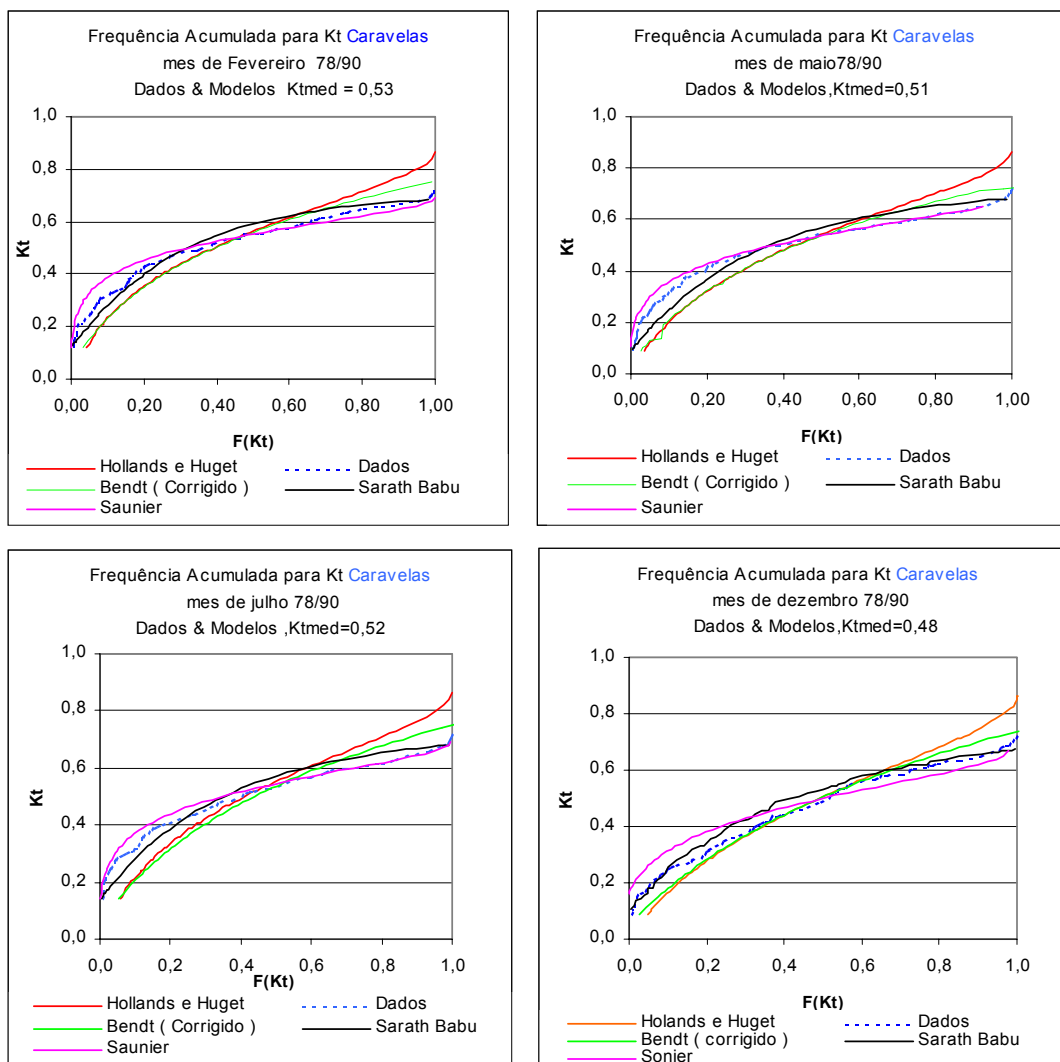


Figura 32 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Caravelas.

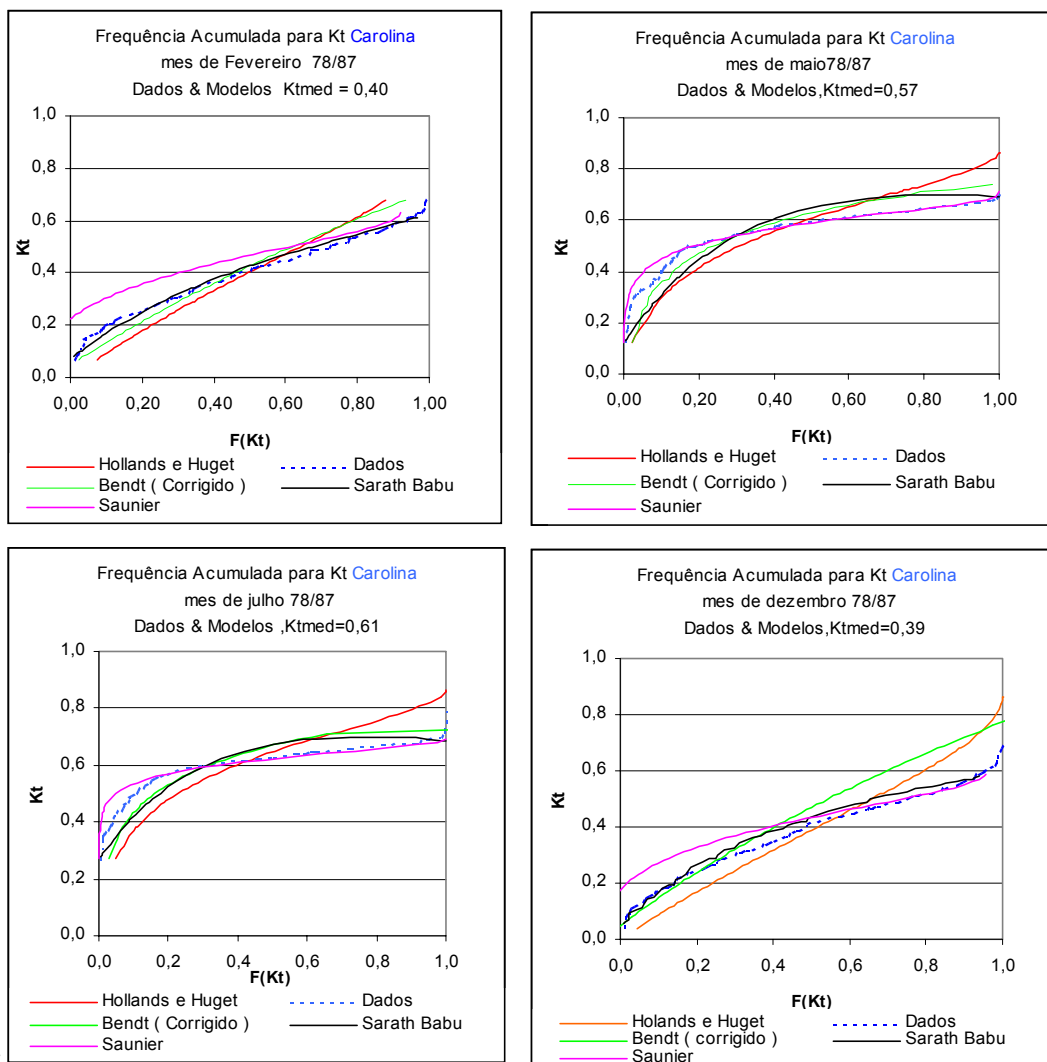


Figura 33 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Carolina.

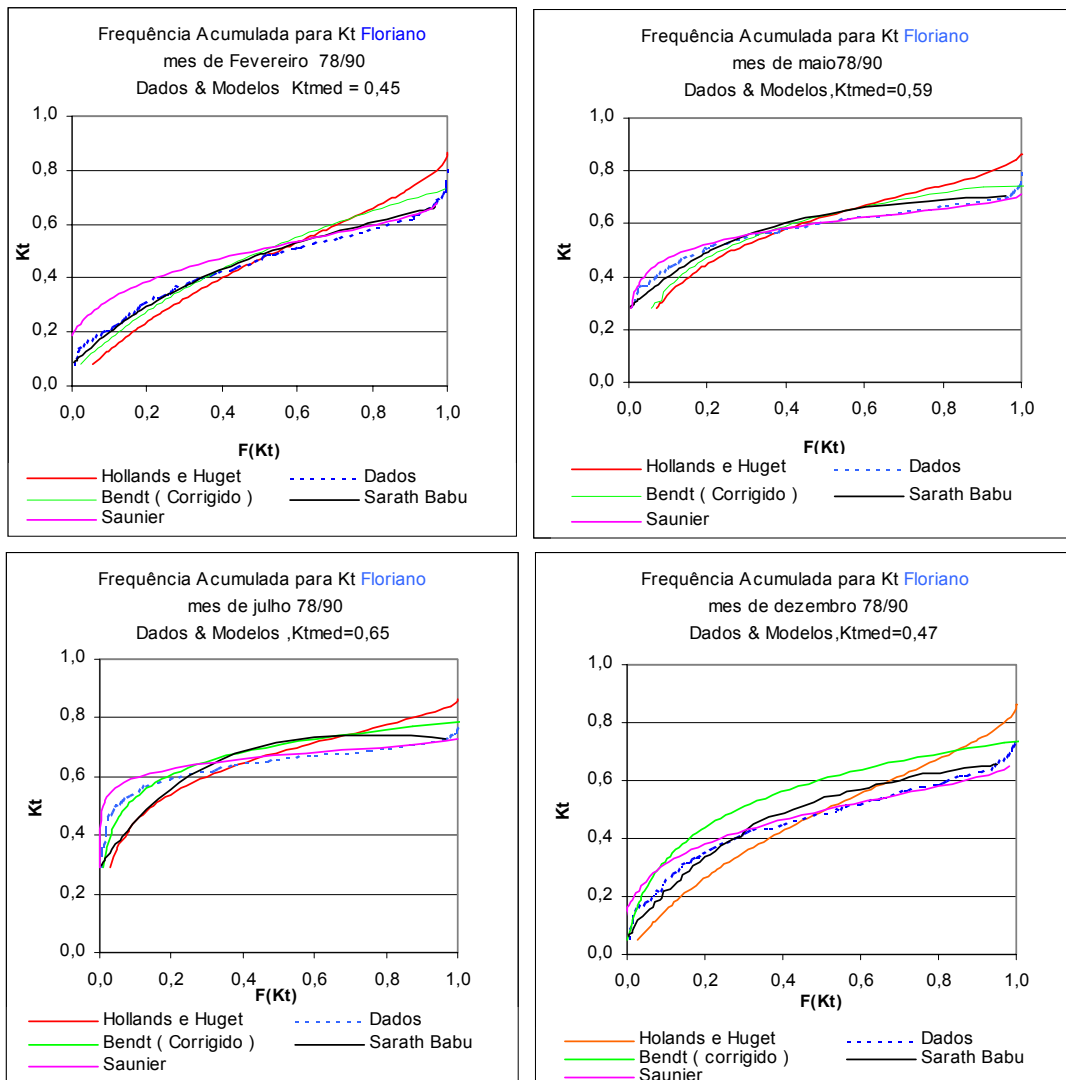


Figura 34 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Floriano.

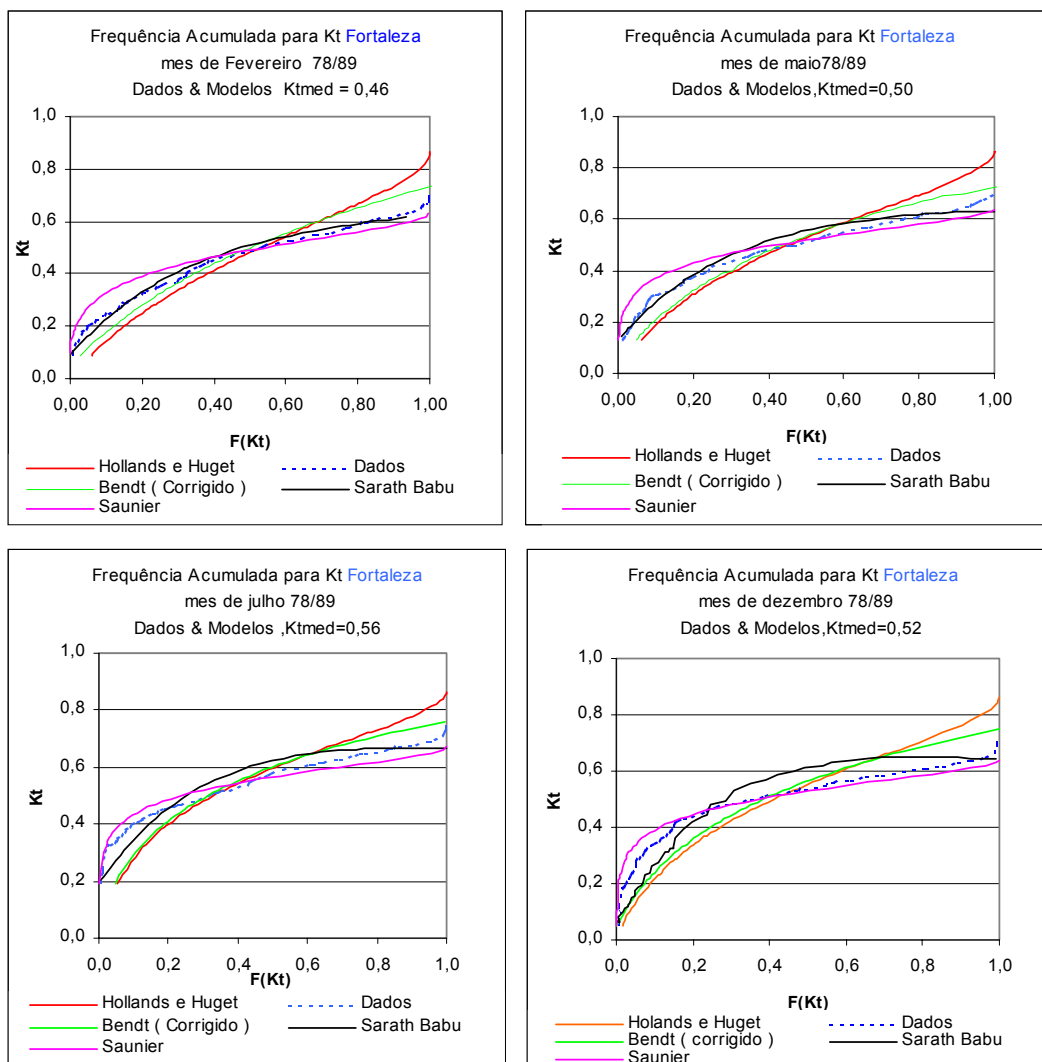


Figura 35 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Fortaleza.

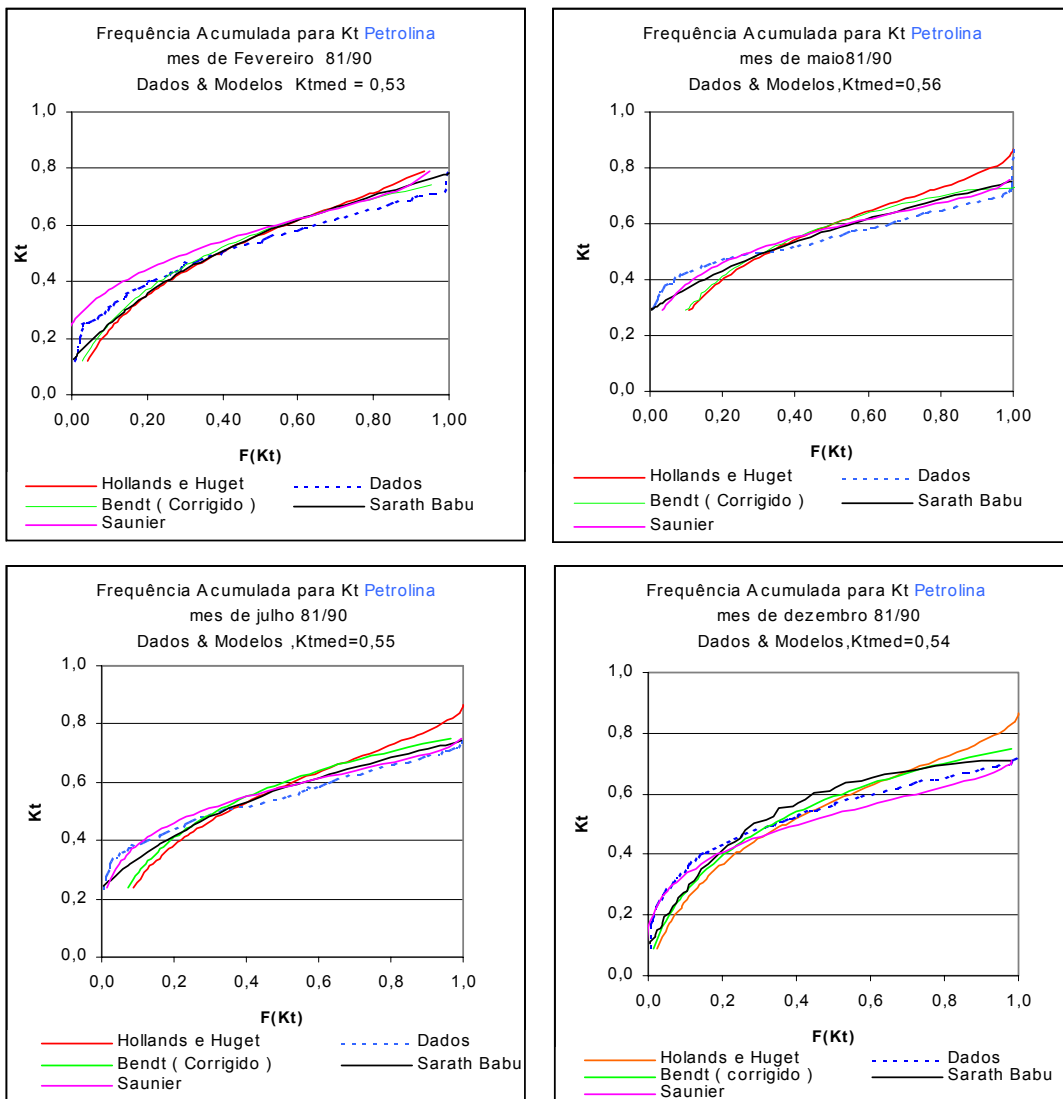


Figura 36 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Petrolina.

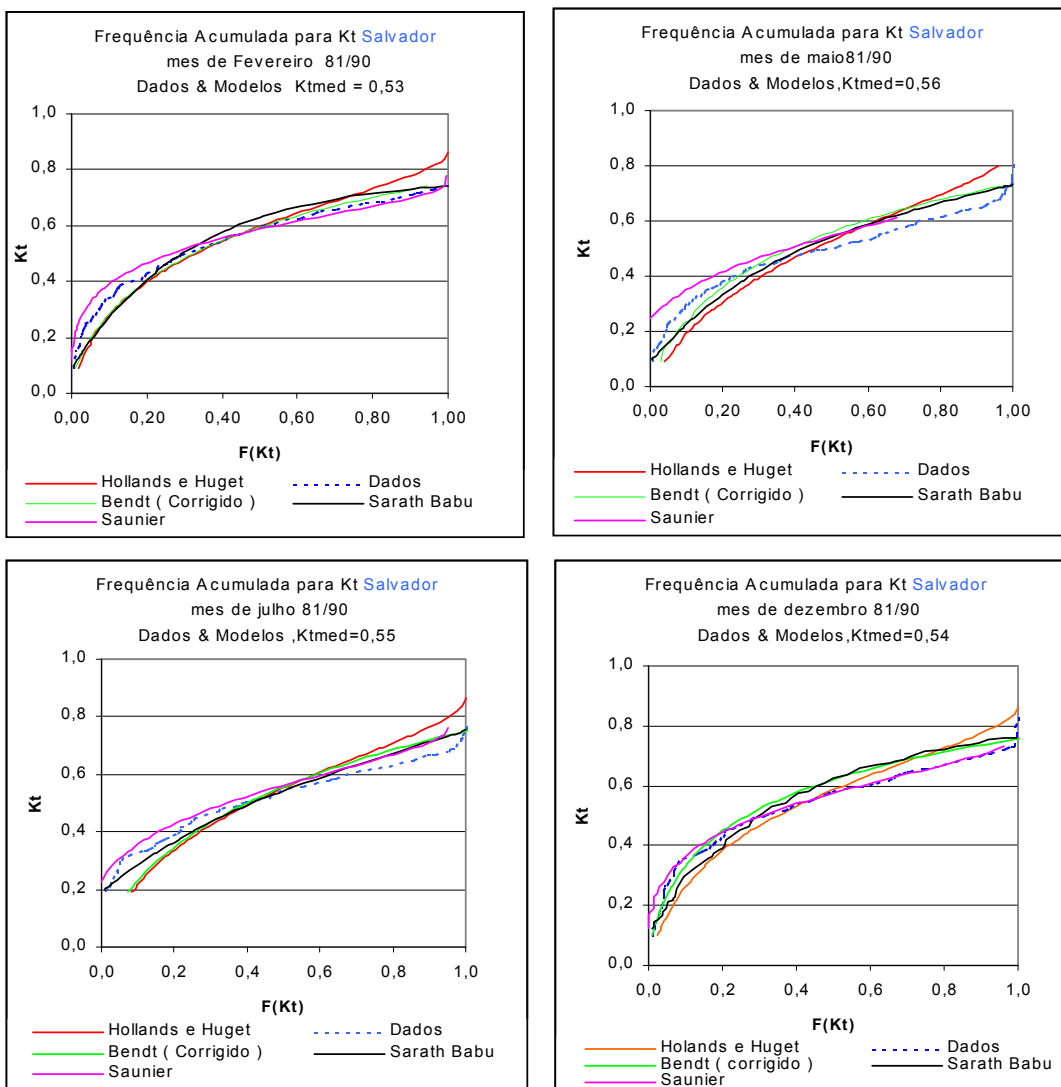


Figura 37 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Salvador.

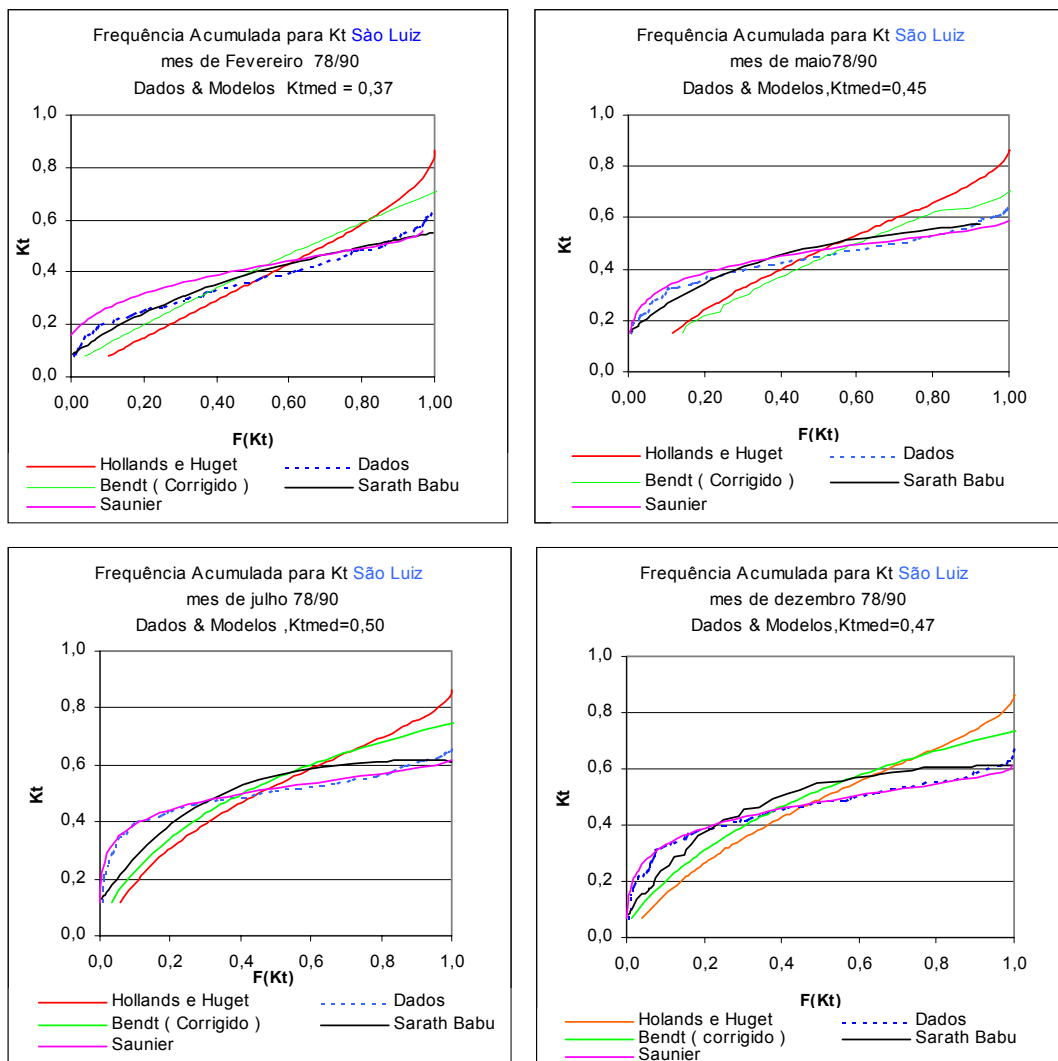


Figura 38 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de São Luiz.

Região Centro Oeste

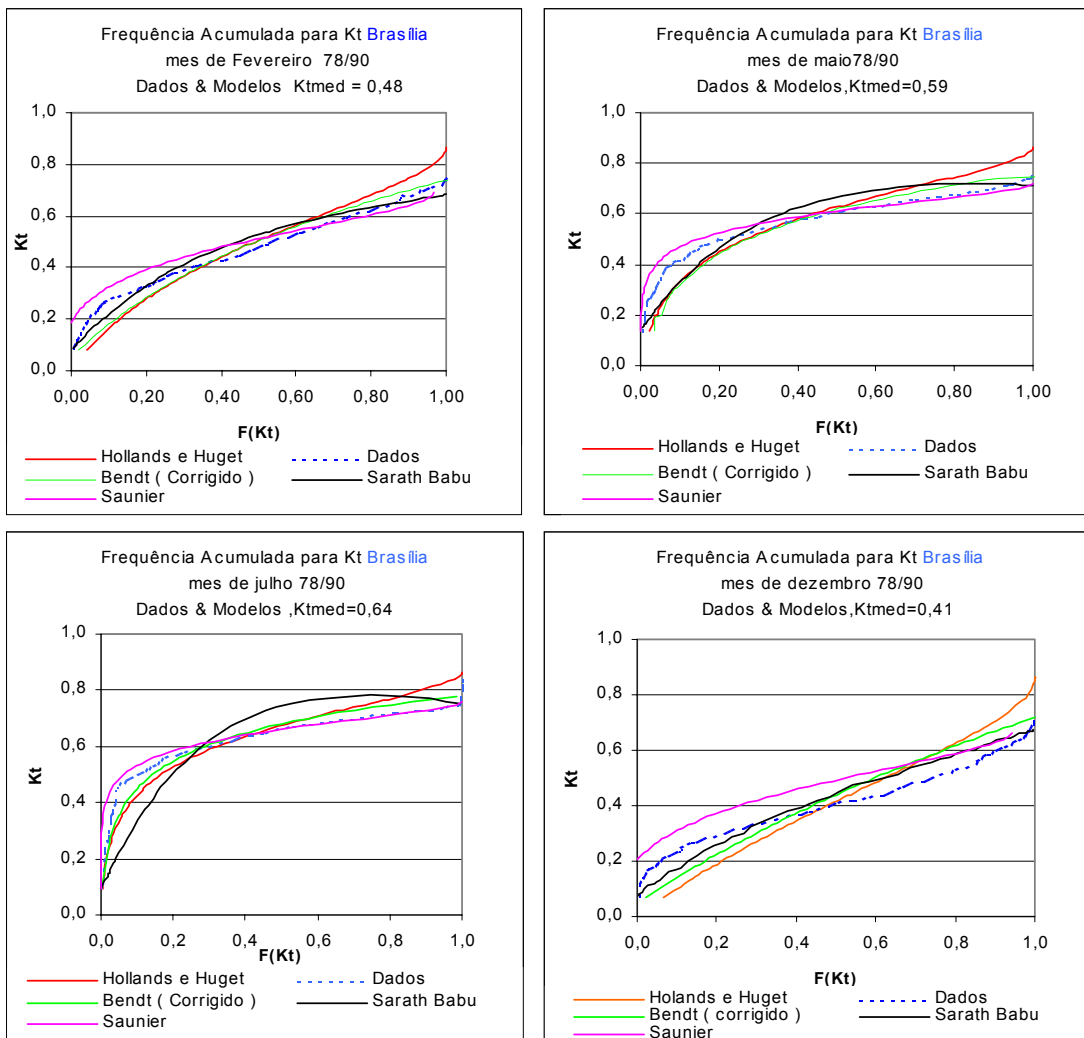


Figura 39 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Brasília.

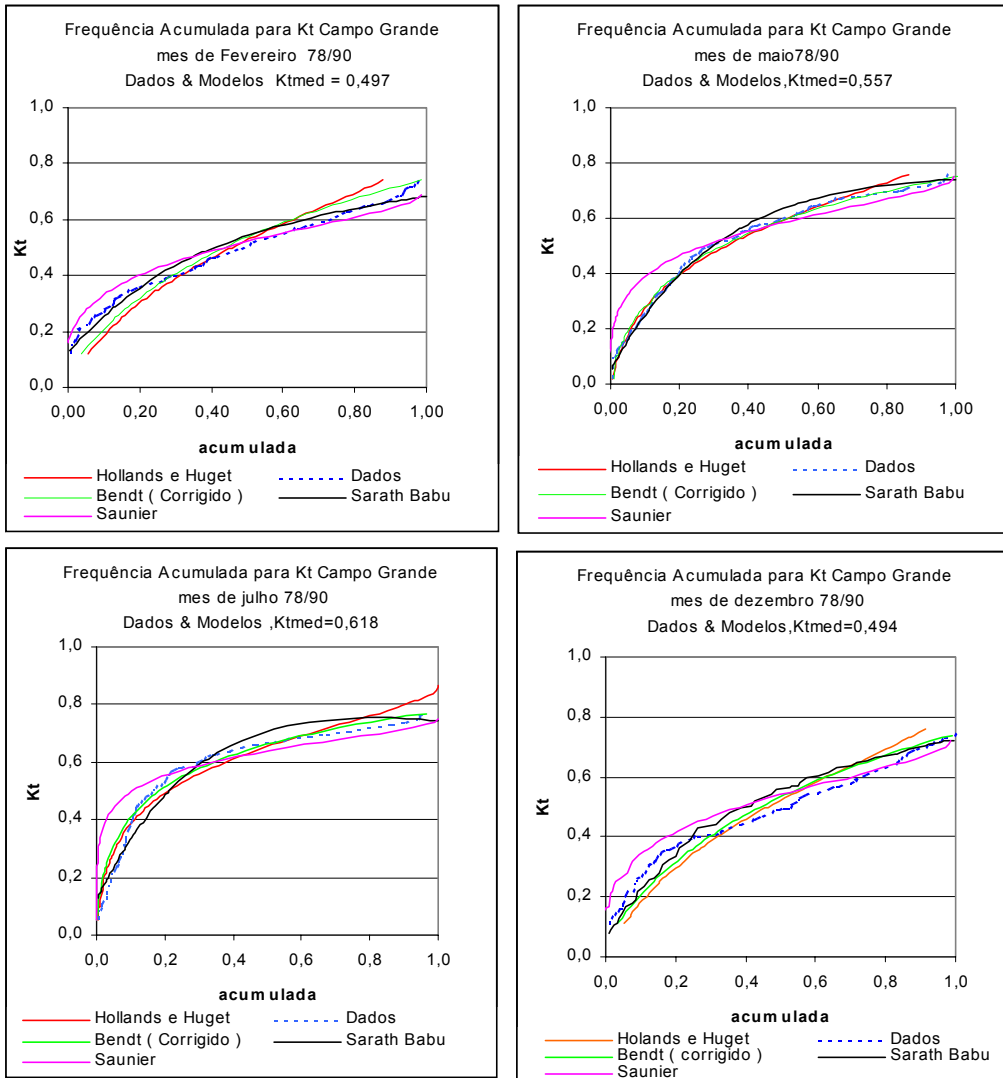


Figura 40 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Campo Grande.

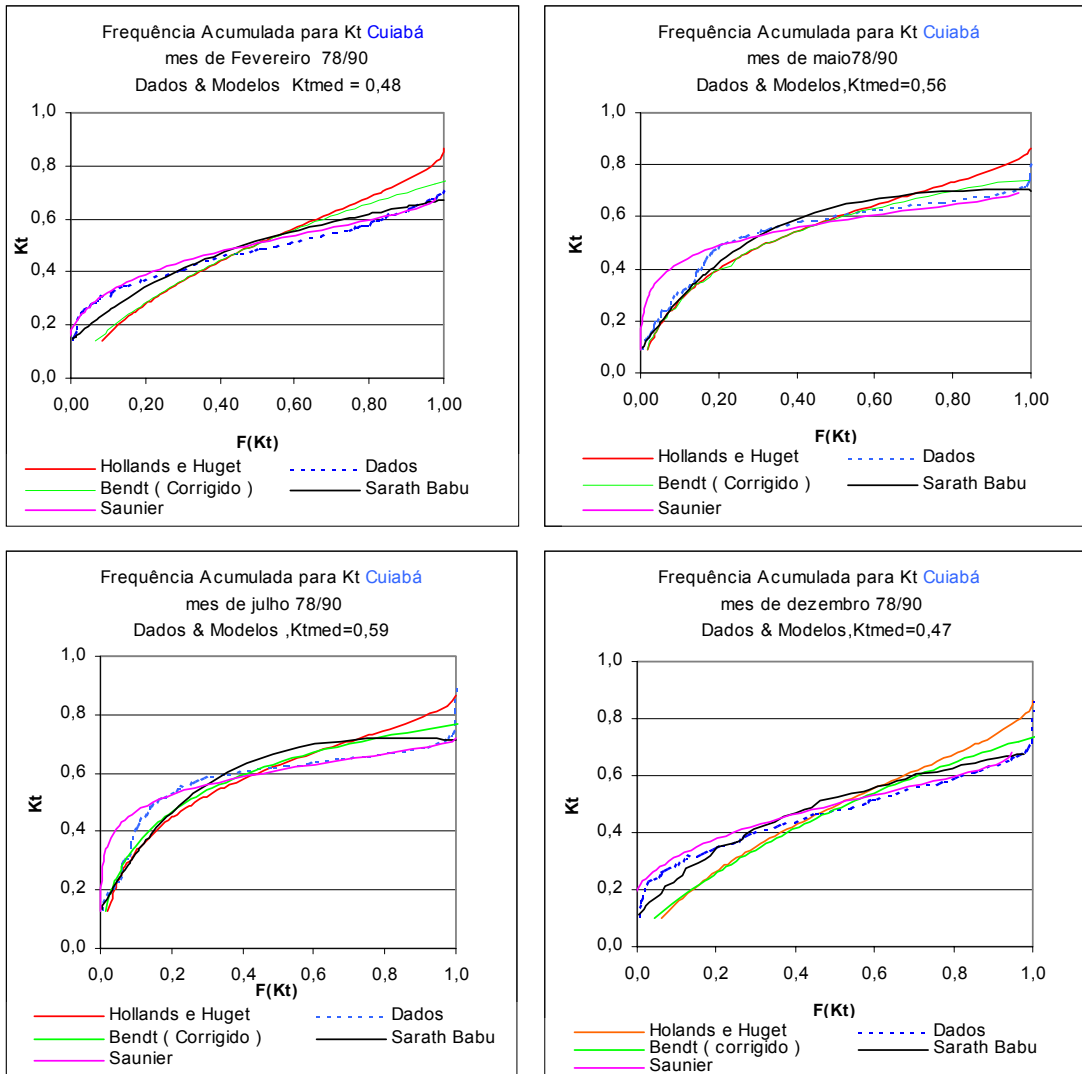


Figura 41 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Cuiabá.

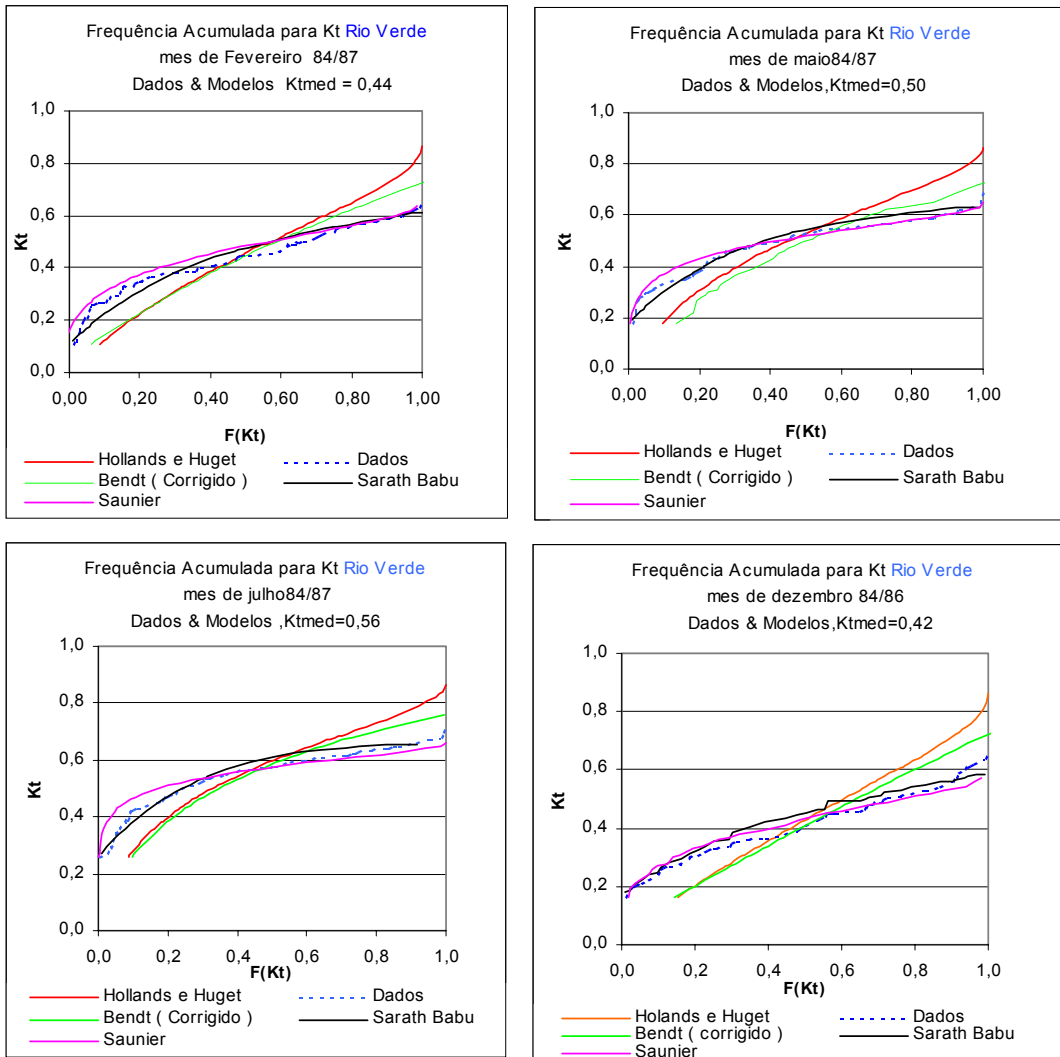


Figura 42 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Rio Verde.

Região Sudeste

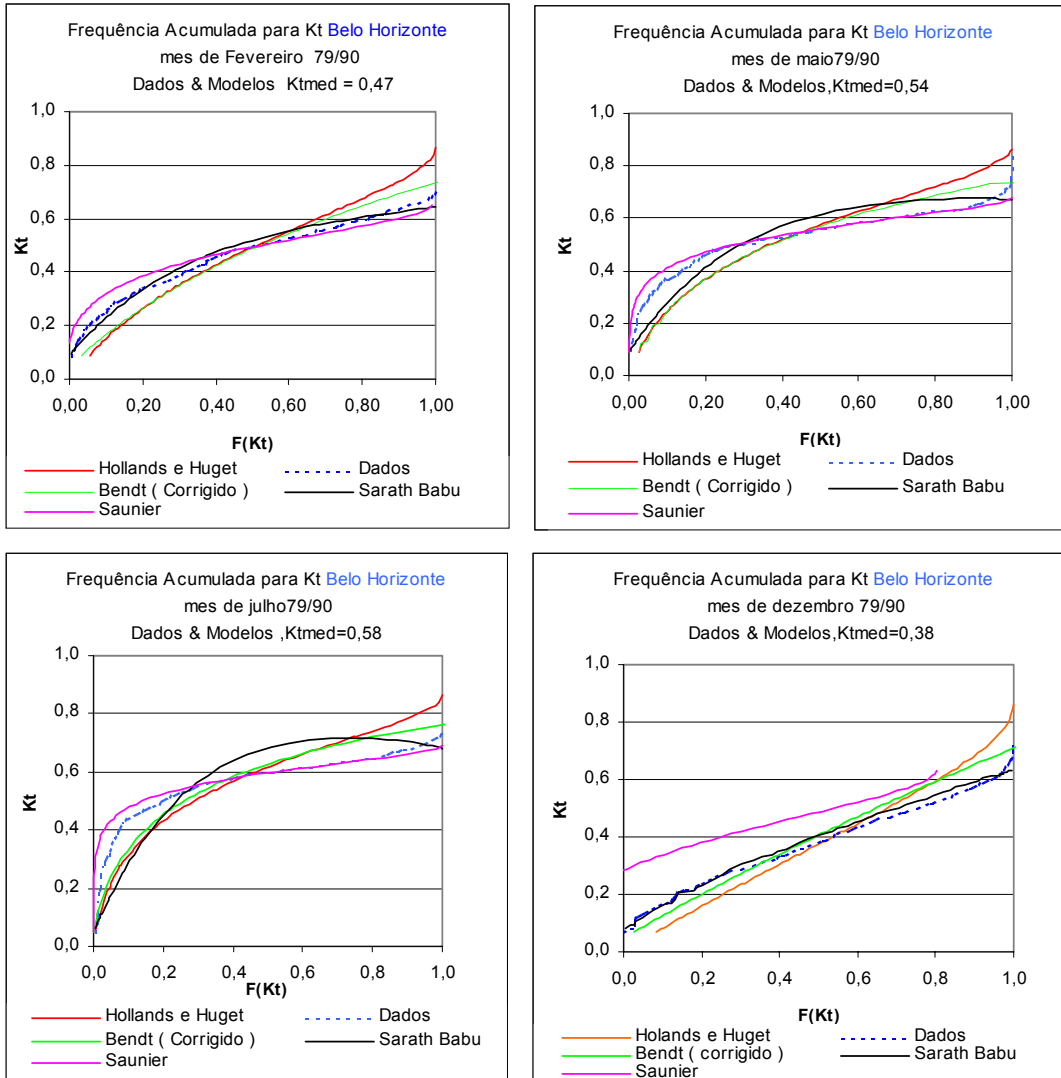


Figura 43 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Belo Horizonte.

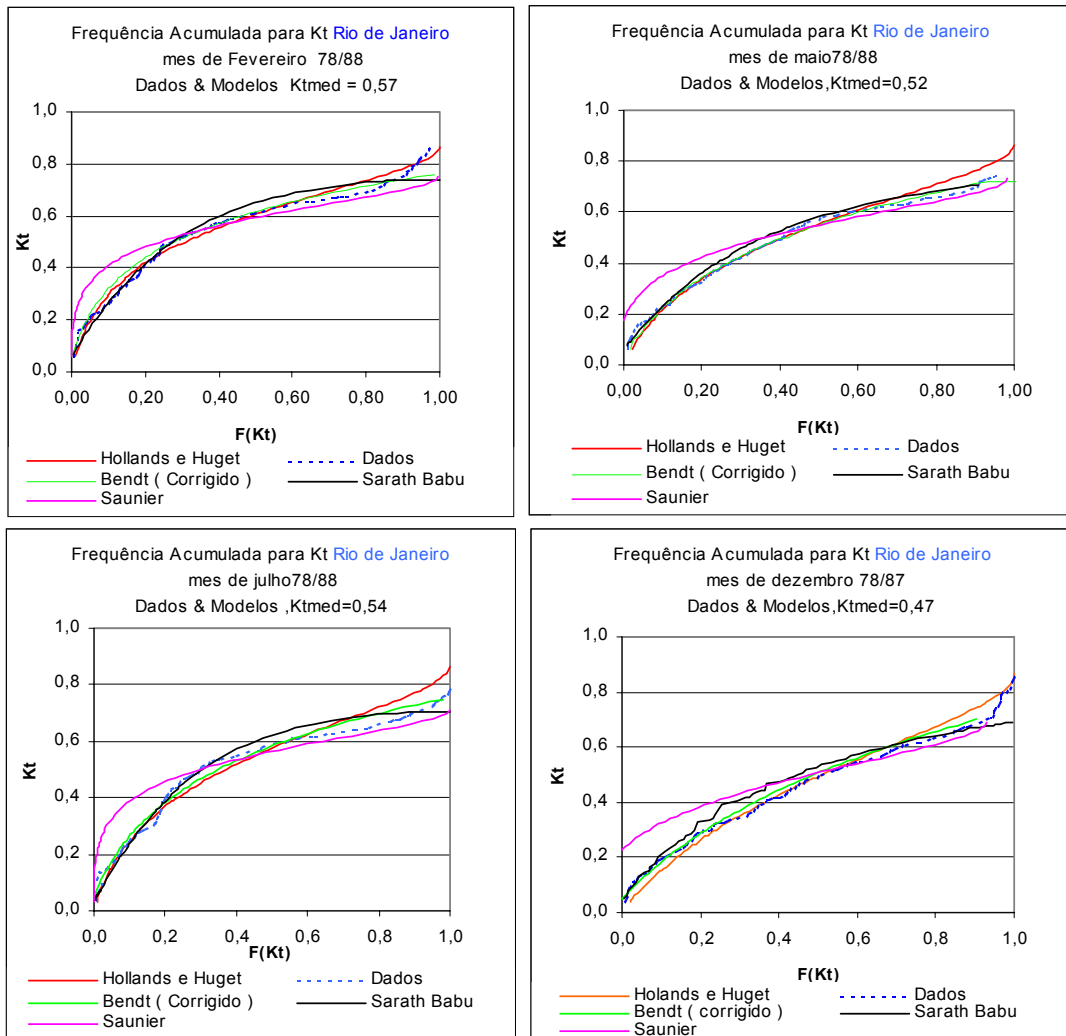


Figura 44 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade do Rio de Janeiro.

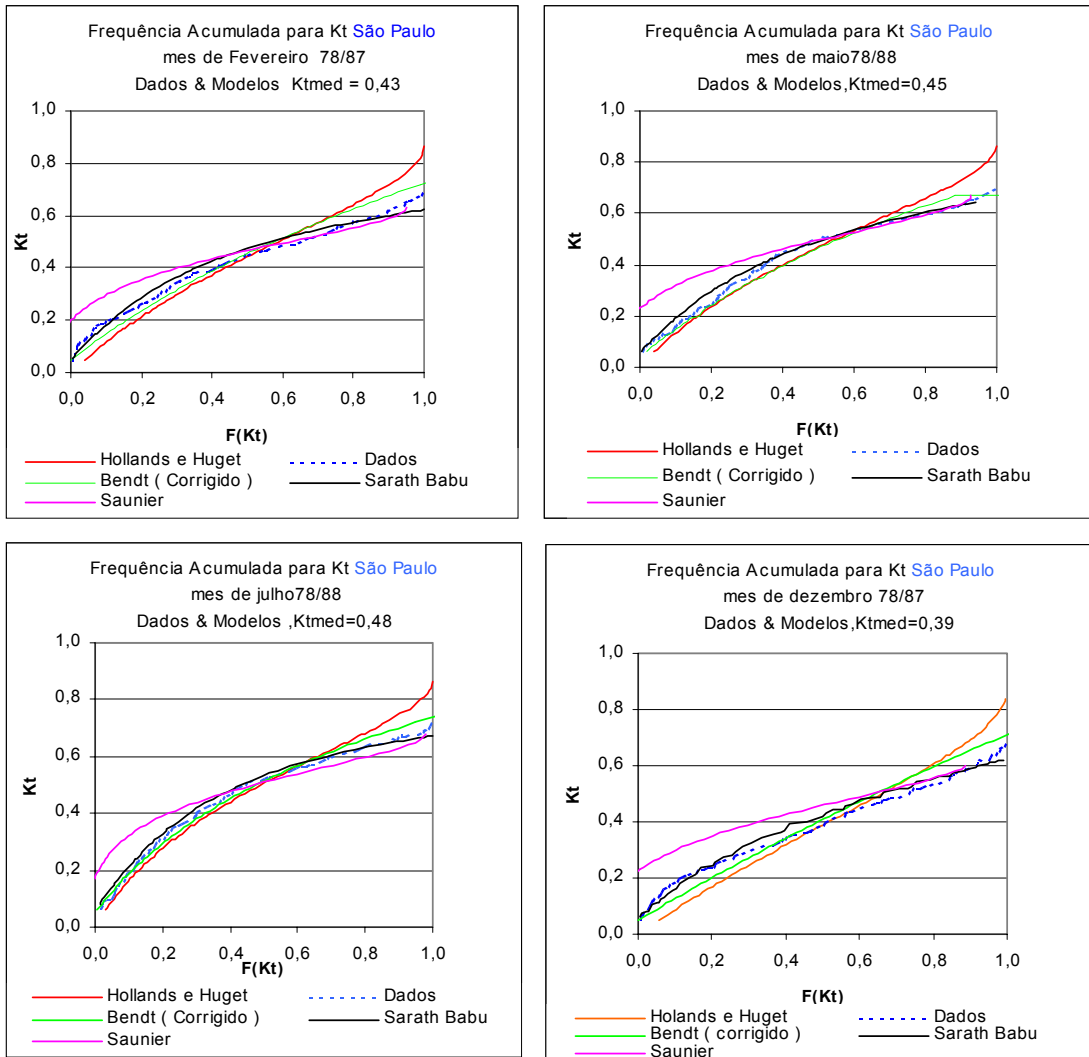


Figura 45 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de São Paulo.

Região Sul

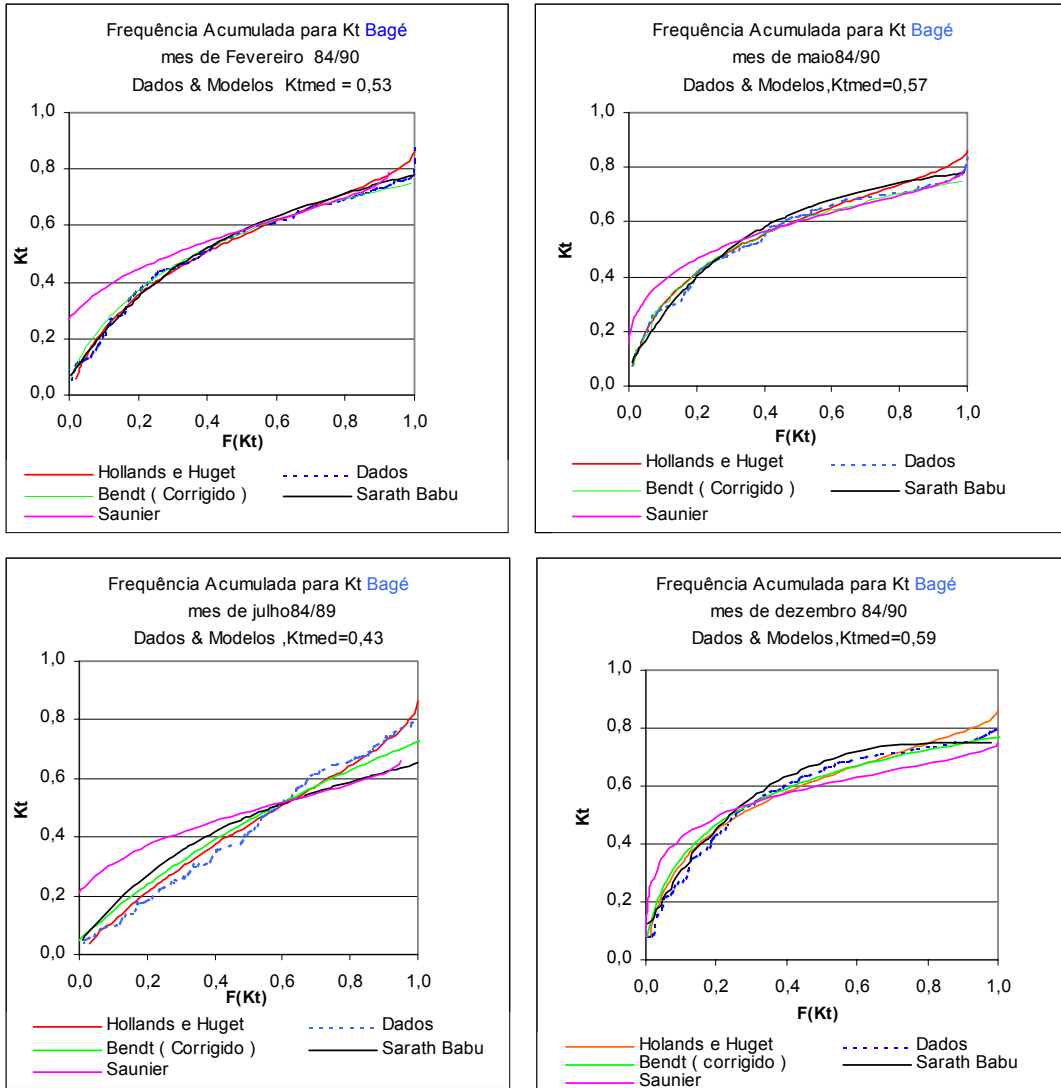


Figura 46 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Bagé.

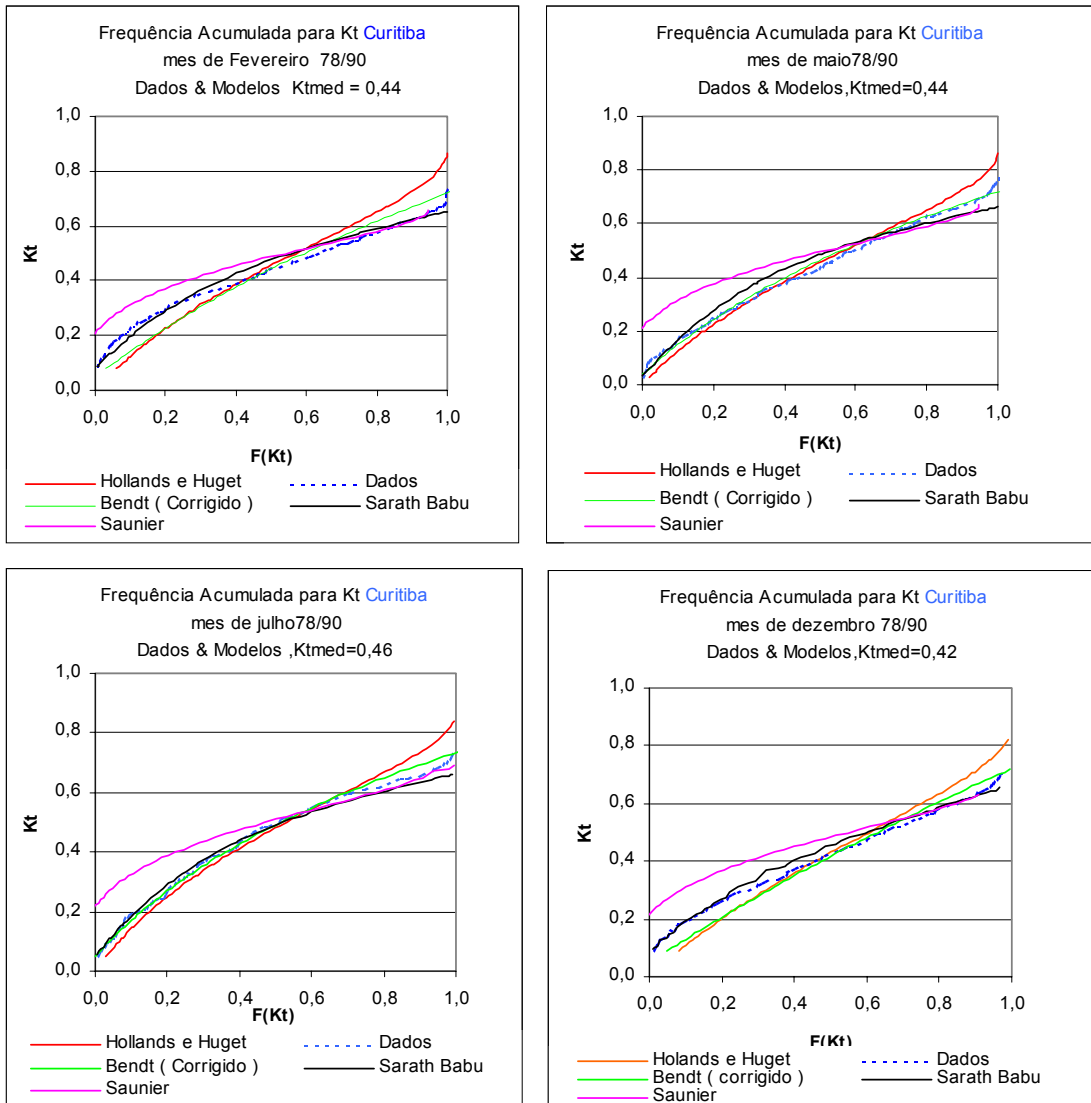


Figura 47 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Curitiba.

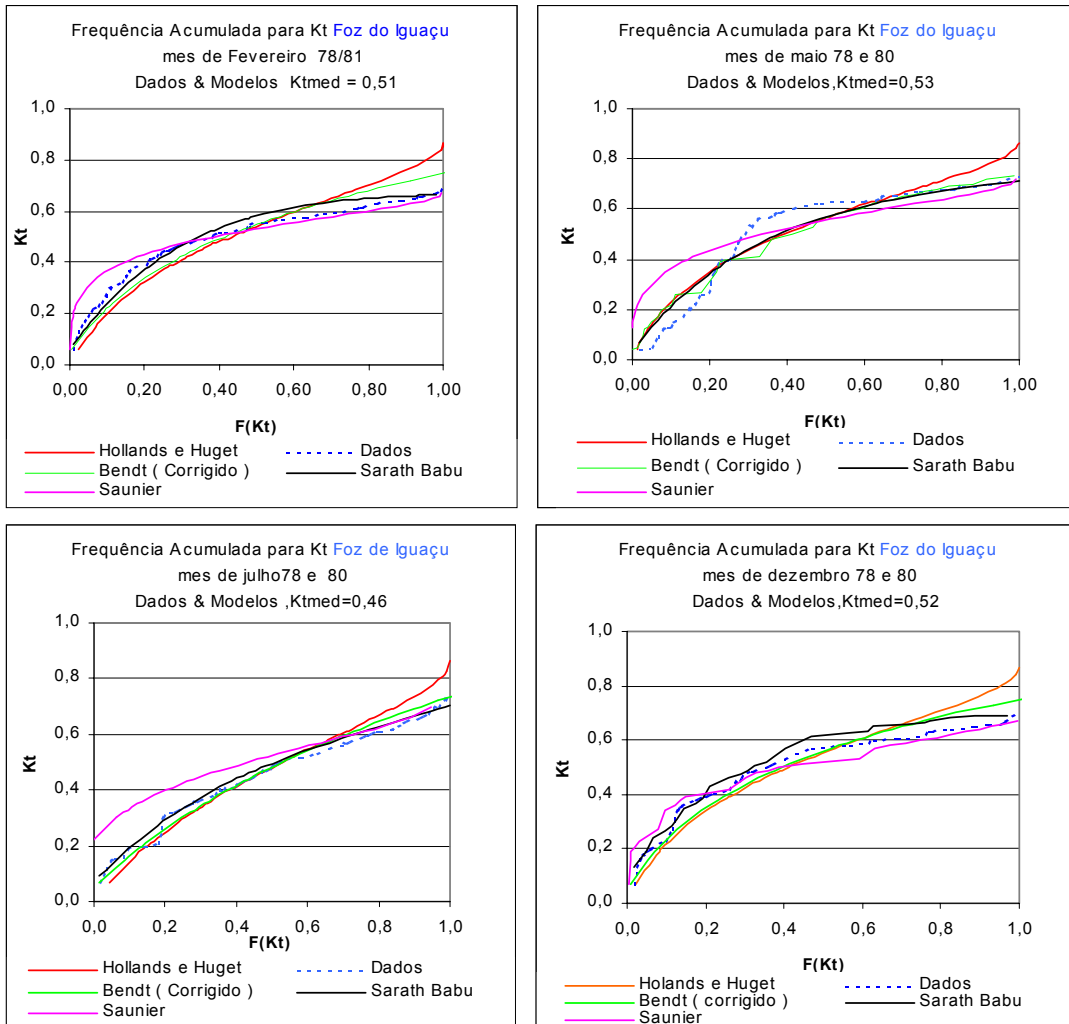


Figura 48 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Foz do Iguaçu.

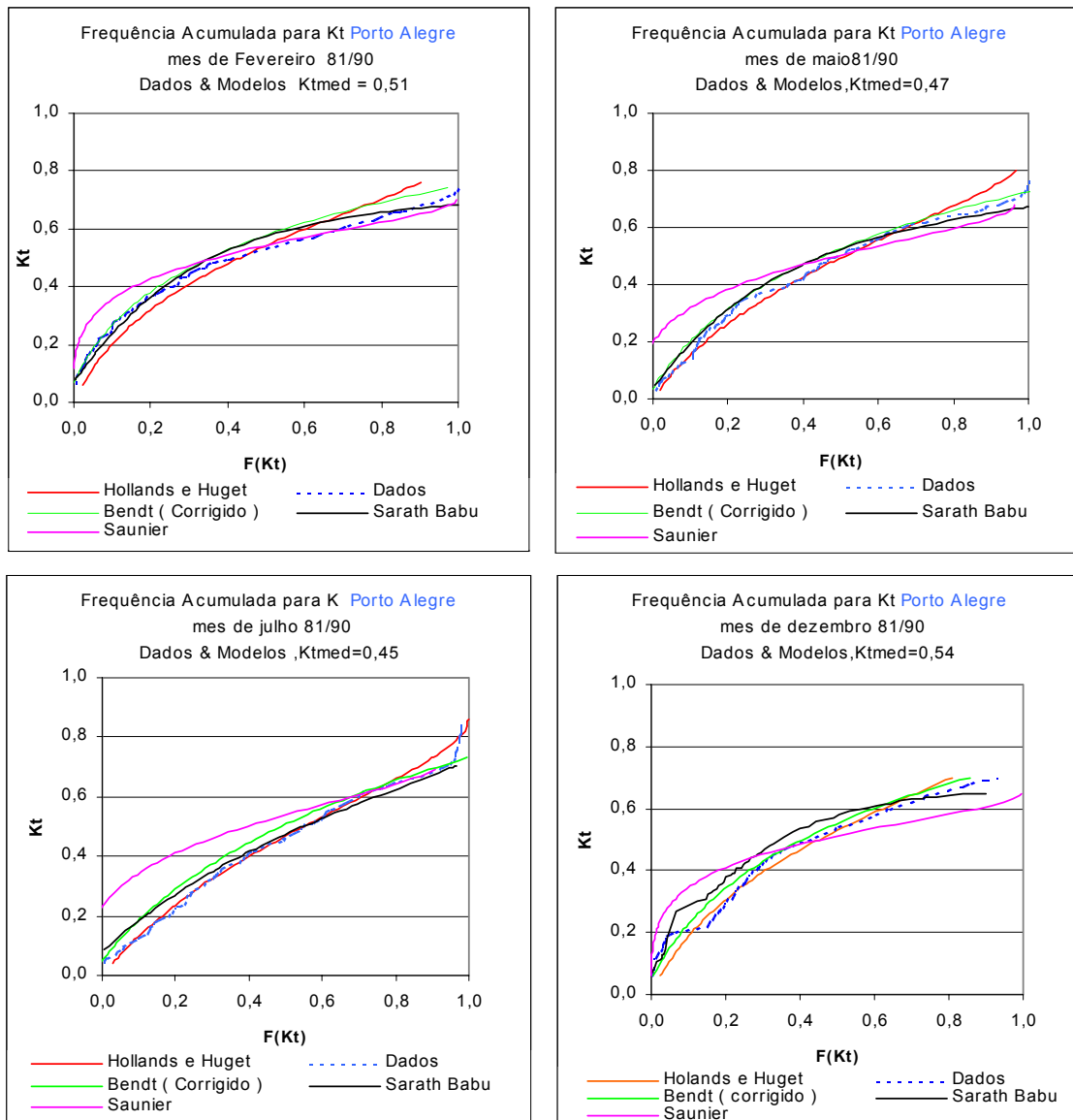


Figura 49 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de Porto Alegre.

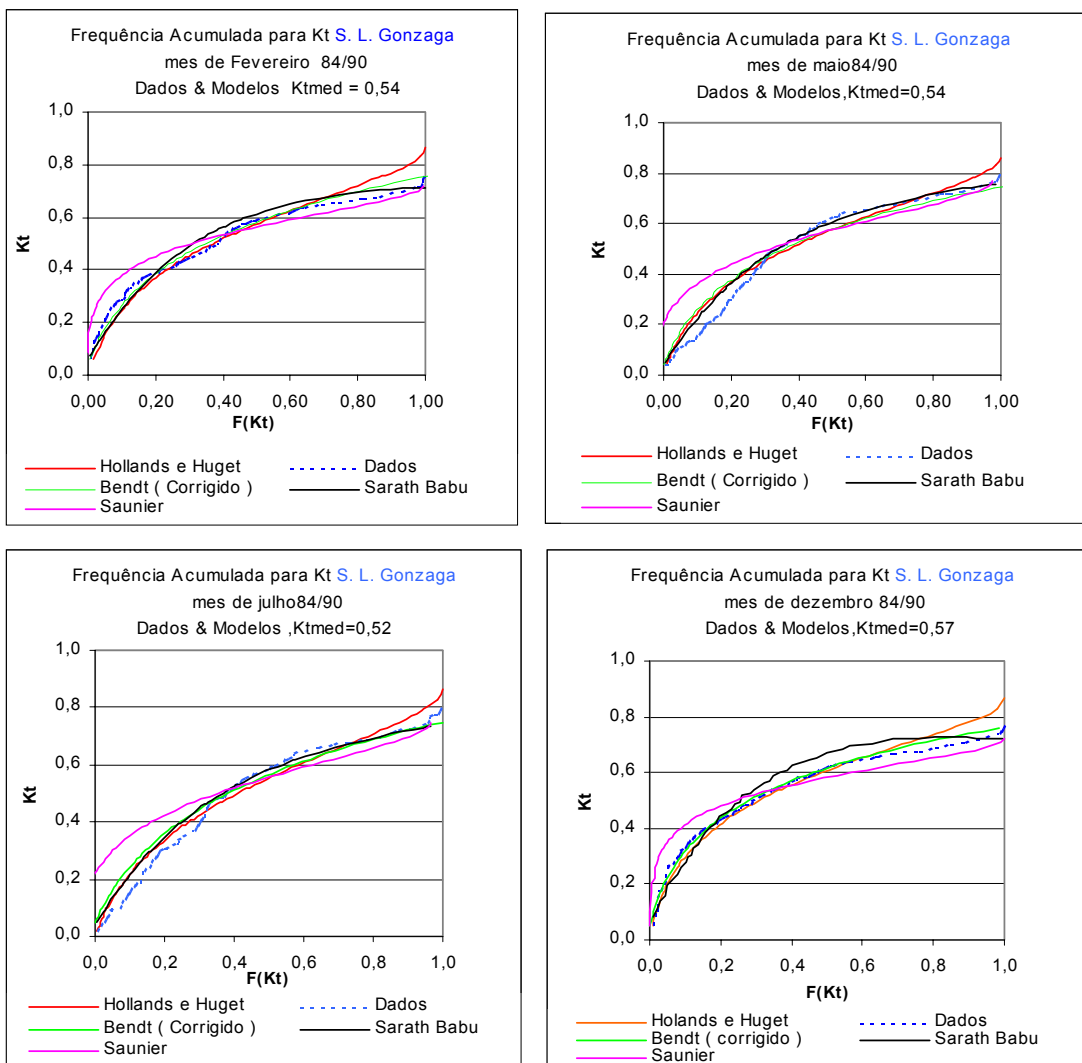


Figura 50 - Desempenho da função de distribuição acumulada para a cidade de S.L.Gonzaga.

ANEXO B

**DESVIO PADRÃO PONDERADO (DPP) DOS MODELOS
ESTUDADOS PARA ESTIMAR $F(x)$, EM 24 LOCALIDADES
BRASILEIRAS .**

LISTA DE QUADROS

| | | Páginas |
|----------|---------------------------------------------------------------|---------|
| Quadro 1 | Desvio padrão ponderado (DPP) para a região Norte..... | 103 |
| Quadro 2 | Desvio padrão ponderado (DPP) para a região Nordeste..... | 104 |
| Quadro 3 | Desvio padrão ponderado (DPP) para a região Centro Oeste..... | 105 |
| Quadro 4 | Desvio padrão ponderado (DPP) para a região Sudeste..... | 106 |
| Quadro 5 | Desvio padrão ponderado (DPP) para a região Sul..... | 107 |

Região Norte

Quadro 1 - Desvio padrão ponderado (DPP) para a região Norte.

| Localidade | Mês | Kt | Modelo | | | |
|----------------|-----------|------|-------------|-------|----------|-------------|
| | | | Sarath Babu | Bendt | Hollands | Saunier |
| Belém | Fevereiro | 0,39 | 0,03 | 0,07 | 0,06 | 0,04 |
| | maio | 0,5 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,01 |
| | julho | 0,57 | 0,08 | 0,12 | 0,12 | 0,03 |
| | dezembro | 0,45 | 0,06 | 0,09 | 0,09 | 0,05 |
| Boa Vista | Fevereiro | 0,52 | 0,08 | 0,09 | 0,09 | 0,02 |
| | maio | 0,49 | 0,03 | 0,05 | 0,06 | 0,03 |
| | julho | 0,52 | 0,03 | 0,05 | 0,05 | 0,03 |
| | dezembro | 0,49 | 0,07 | 0,10 | 0,10 | 0,02 |
| Manaus | Fevereiro | 0,39 | 0,02 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| | maio | 0,46 | 0,03 | 0,05 | 0,05 | 0,04 |
| | julho | 0,49 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,02 |
| | dezembro | 0,4 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,03 |
| Porto Nacional | Fevereiro | 0,4 | 0,02 | 0,04 | 0,04 | 0,03 |
| | maio | 0,55 | 0,09 | 0,10 | 0,10 | 0,05 |
| | julho | 0,57 | 0,08 | 0,09 | 0,08 | 0,05 |
| | dezembro | 0,4 | 0,04 | 0,09 | 0,09 | 0,02 |

Região Nordeste

Quadro 2 - Desvio padrão ponderado (DPP) para a região Nordeste

| Localidade | Mês | K_t | Modelo | | | |
|------------|-----------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | Sarath Babu | Bendt | Hollands | Saunier |
| Bom Jesus | Fevereiro | 0,58 | 0,03 | 0,02 | 0,03 | 0,05 |
| | maio | 0,6 | 0,11 | 0,11 | 0,10 | 0,05 |
| | julho | 0,63 | 0,09 | 0,12 | 0,12 | 0,03 |
| | dezembro | 0,46 | 0,08 | 0,03 | 0,04 | 0,09 |
| Caravelas | Fevereiro | 0,53 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,03 |
| | maio | 0,51 | 0,04 | 0,06 | 0,06 | 0,01 |
| | julho | 0,52 | 0,04 | 0,06 | 0,07 | 0,02 |
| | dezembro | 0,48 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,03 |
| Carolina | Fevereiro | 0,4 | 0,01 | 0,04 | 0,04 | 0,05 |
| | maio | 0,57 | 0,11 | 0,11 | 0,10 | 0,01 |
| | julho | 0,61 | 0,08 | 0,10 | 0,10 | 0,03 |
| | dezembro | 0,39 | 0,02 | 0,07 | 0,04 | 0,04 |
| Floriano | Fevereiro | 0,45 | 0,02 | 0,05 | 0,05 | 0,03 |
| | maio | 0,59 | 0,05 | 0,08 | 0,07 | 0,02 |
| | julho | 0,65 | 0,16 | 0,15 | 0,13 | 0,05 |
| | dezembro | 0,47 | 0,03 | 0,12 | 0,06 | 0,02 |
| Fortaleza | Fevereiro | 0,46 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,03 |
| | maio | 0,5 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,04 |
| | julho | 0,56 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,05 |
| | dezembro | 0,52 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,02 |
| Petrolina | Fevereiro | 0,53 | 0,05 | 0,04 | 0,05 | 0,05 |
| | maio | 0,56 | 0,05 | 0,08 | 0,09 | 0,04 |
| | julho | 0,55 | 0,03 | 0,06 | 0,07 | 0,03 |
| | dezembro | 0,54 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,03 |
| Salvador | Fevereiro | 0,53 | 0,05 | 0,02 | 0,05 | 0,02 |
| | maio | 0,56 | 0,05 | 0,07 | 0,07 | 0,04 |
| | julho | 0,55 | 0,03 | 0,05 | 0,06 | 0,04 |
| | dezembro | 0,54 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,01 |
| São Luiz | Fevereiro | 0,37 | 0,02 | 0,05 | 0,04 | 0,04 |
| | maio | 0,45 | 0,04 | 0,06 | 0,07 | 0,02 |
| | julho | 0,5 | 0,09 | 0,11 | 0,10 | 0,03 |
| | dezembro | 0,47 | 0,07 | 0,09 | 0,08 | 0,02 |

Região Centro Oeste

Quadro 3 - Desvio padrão ponderado (DPP) para a região Centro Oeste.

| Localidade | Mês | $\bar{K}t$ | Modelo | | | |
|--------------|-----------|------------|-------------|-------------|----------|-------------|
| | | | Sarath Babu | Bendt | Hollands | Saunier |
| Brasília | Fevereiro | 0,48 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,03 |
| | maio | 0,59 | 0,10 | 0,06 | 0,07 | 0,03 |
| | julho | 0,64 | 0,17 | 0,07 | 0,09 | 0,02 |
| | dezembro | 0,41 | 0,03 | 0,06 | 0,06 | 0,08 |
| Campo Grande | Fevereiro | 0,5 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,03 |
| | maio | 0,56 | 0,03 | 0,02 | 0,03 | 0,04 |
| | julho | 0,62 | 0,07 | 0,03 | 0,04 | 0,05 |
| | dezembro | 0,49 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,04 |
| Cuiabá | Fevereiro | 0,48 | 0,04 | 0,06 | 0,07 | 0,02 |
| | maio | 0,56 | 0,06 | 0,02 | 0,03 | 0,01 |
| | julho | 0,59 | 0,10 | 0,08 | 0,09 | 0,02 |
| | dezembro | 0,47 | 0,03 | 0,05 | 0,06 | 0,03 |
| Rio Verde | Fevereiro | 0,44 | 0,03 | 0,06 | 0,07 | 0,03 |
| | maio | 0,5 | 0,05 | 0,08 | 0,09 | 0,02 |
| | julho | 0,56 | 0,05 | 0,07 | 0,08 | 0,04 |
| | dezembro | 0,42 | 0,02 | 0,05 | 0,06 | 0,02 |

Região Sudeste

Quadro 4 - Desvio padrão ponderado (DPP) para a região Sudeste.

| Localidade | Mês | $\bar{K}t$ | Modelo | | | |
|----------------|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | Sarath Babu | Bendt | Hollands | Saunier |
| Belo Horizonte | Fevereiro | 0,47 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,03 |
| | maio | 0,54 | 0,08 | 0,07 | 0,08 | 0,02 |
| | julho | 0,58 | 0,12 | 0,08 | 0,08 | 0,02 |
| | dezembro | 0,38 | 0,01 | 0,04 | 0,04 | 0,10 |
| Rio de Janeiro | Fevereiro | 0,57 | 0,05 | 0,02 | 0,03 | 0,04 |
| | maio | 0,52 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,04 |
| | julho | 0,54 | 0,05 | 0,03 | 0,04 | 0,04 |
| | dezembro | 0,47 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,04 |
| São Paulo | Fevereiro | 0,43 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,03 |
| | maio | 0,45 | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,03 |
| | julho | 0,48 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 |
| | dezembro | 0,39 | 0,01 | 0,03 | 0,03 | 0,06 |

Região Sul

Quadro 5 - Desvio padrão ponderado (DPP) para a região Sul.

| Localidade | Mês | \bar{K}_t | Modelo | | | |
|----------------|-----------|-------------|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | Sarath Babu | Bendt | Hollands | Saunier |
| Bagé | Fevereiro | 0,53 | 0,02 | 0,17 | 0,02 | 0,03 |
| | maio | 0,57 | 0,04 | 0,01 | 0,03 | 0,03 |
| | julho | 0,43 | 0,06 | 0,03 | 0,02 | 0,08 |
| | dezembro | 0,59 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,08 |
| Curitiba | Fevereiro | 0,44 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | 0,04 |
| | maio | 0,44 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,05 |
| | julho | 0,46 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,03 |
| | dezembro | 0,42 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,05 |
| Foz do Iguaçu | Fevereiro | 0,51 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,03 |
| | maio | 0,53 | Quantidade de dados insuficiente | | | |
| | julho | 0,46 | Quantidade de dados insuficiente | | | |
| | dezembro | 0,52 | Quantidade de dados insuficiente | | | |
| Porto Alegre | Fevereiro | 0,51 | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 0,03 |
| | maio | 0,47 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,05 |
| | julho | 0,45 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,06 |
| | dezembro | 0,54 | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,06 |
| S Luiz Gonzaga | Fevereiro | 0,54 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,04 |
| | maio | 0,54 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,05 |
| | julho | 0,52 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,05 |
| | dezembro | 0,57 | 0,06 | 0,03 | 0,04 | 0,05 |

ANEXO C

DESEMPENHO DOS MODELOS ESTUDADOS PARA ESTIMAR A FUNÇÃO DENSIDADE DE PROBABILIDADE $f(x)$, EM 24 LOCALIDADES BRASILEIRAS.

LISTA DE FIGURAS

| | Página |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Figura 51 Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Belém | 110 |
| Figura 52 Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Boa Vista | 111 |
| Figura 53 Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Manaus..... | 112 |
| Figura 54 Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Porto Nacional..... | 113 |
| Figura 55 Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Bom Jesus..... | 114 |
| Figura 56 Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Caravelas..... | 115 |
| Figura 57 Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Carolina..... | 116 |
| Figura 58 Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Floriano..... | 117 |
| Figura 59 Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Fortaleza..... | 118 |
| Figura 60 Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Petrolina..... | 119 |
| Figura 61 Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Salvador..... | 120 |
| Figura 62 Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de São Luiz..... | 121 |
| Figura 63 Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Campo Grande..... | 122 |
| Figura 64 Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Cuiabá..... | 123 |
| Figura 65 Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Brasília..... | 124 |
| Figura 66 Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Rio Verde..... | 125 |
| Figura 67 Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Belo Horizonte..... | 126 |
| Figura 68 Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade do Rio de Janeiro..... | 127 |
| Figura 69 Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de São Paulo..... | 128 |
| Figura 70 Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Bagé..... | 129 |
| Figura 71 Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Curitiba..... | 130 |
| Figura 72 Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Foz de Iguaçu..... | 131 |
| Figura 73 Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Porto Alegre..... | 132 |
| Figura 74 Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de S. L. Gonzaga..... | 133 |

Região Norte

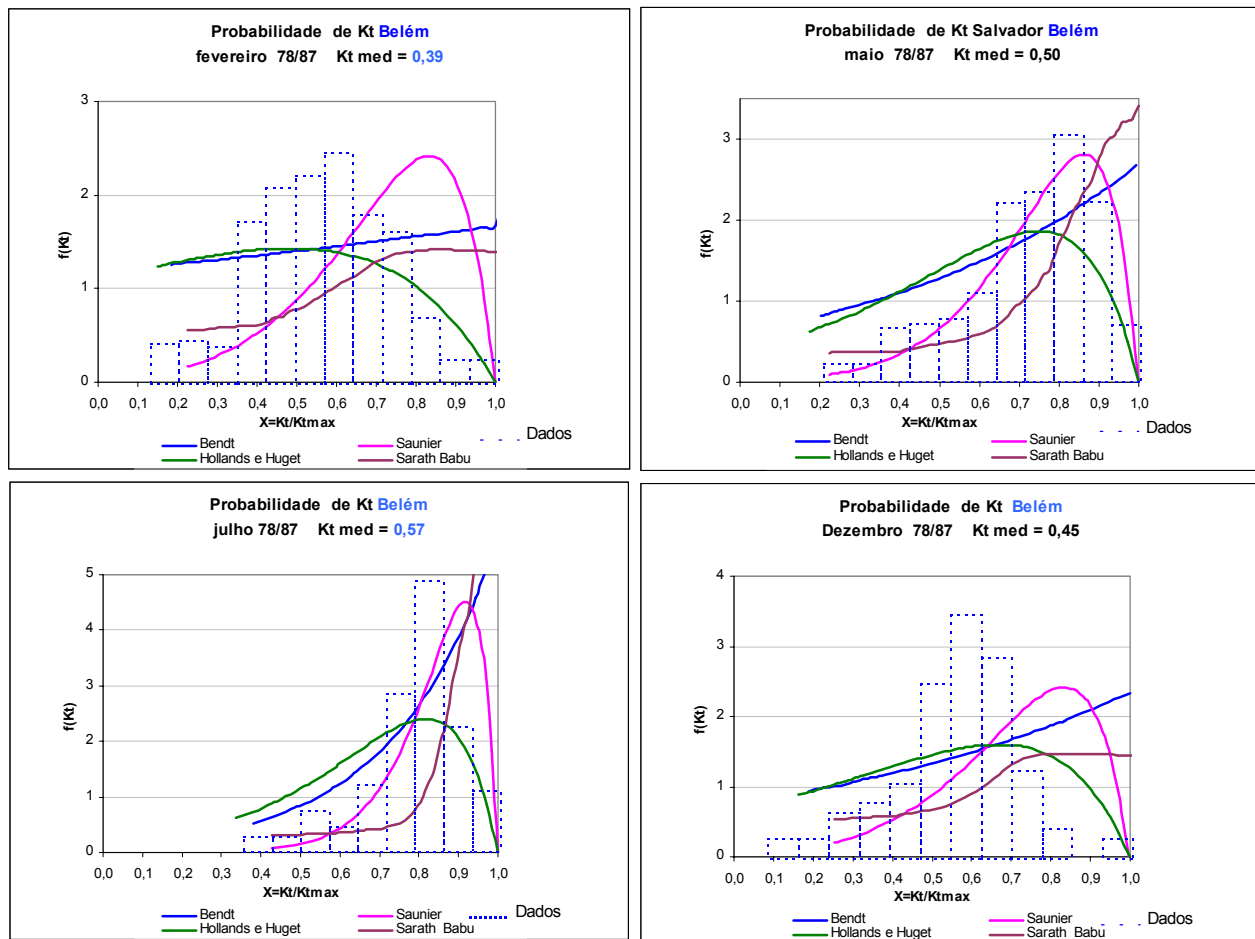


Figura 51 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Belém

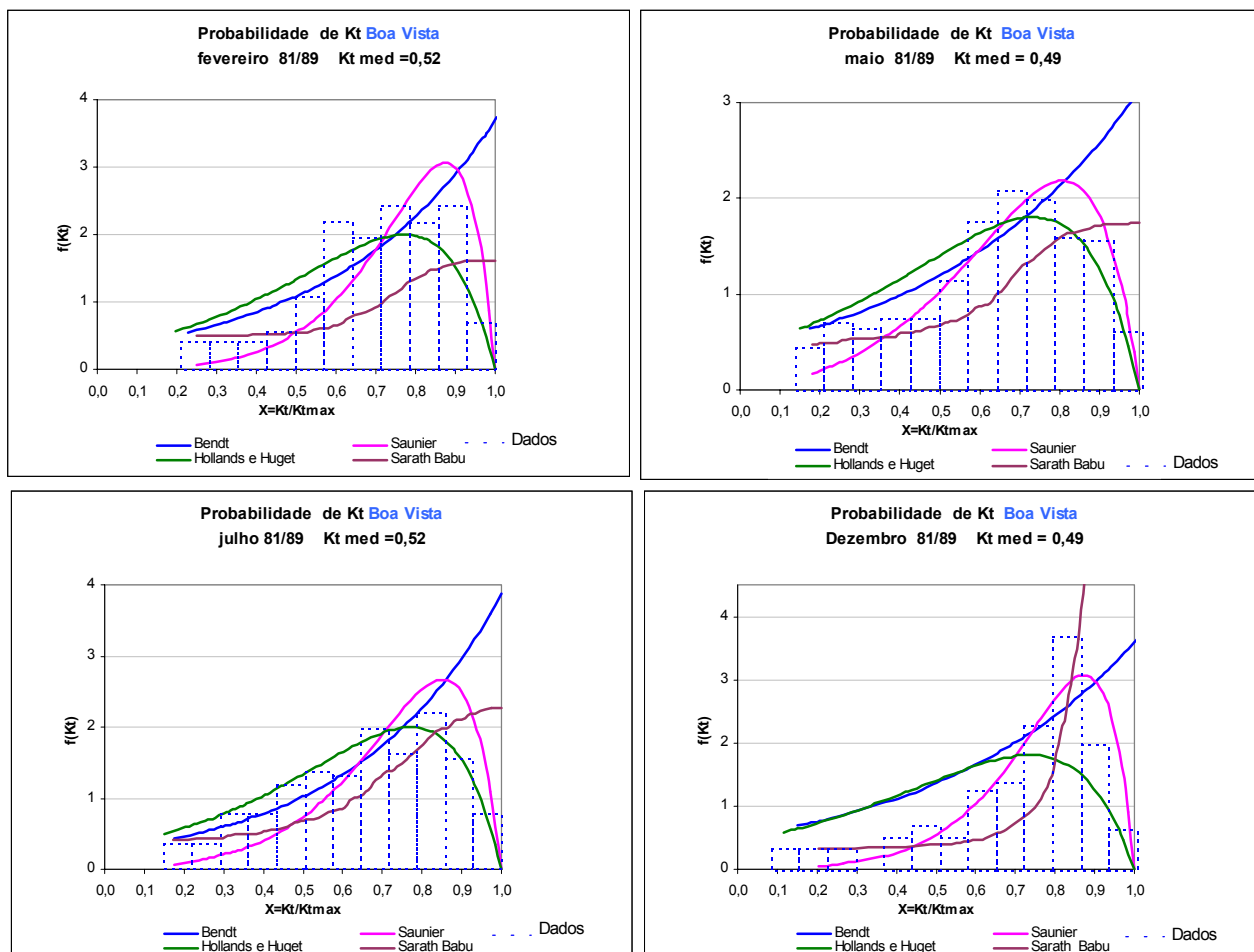


Figura 52 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Boa Vista.

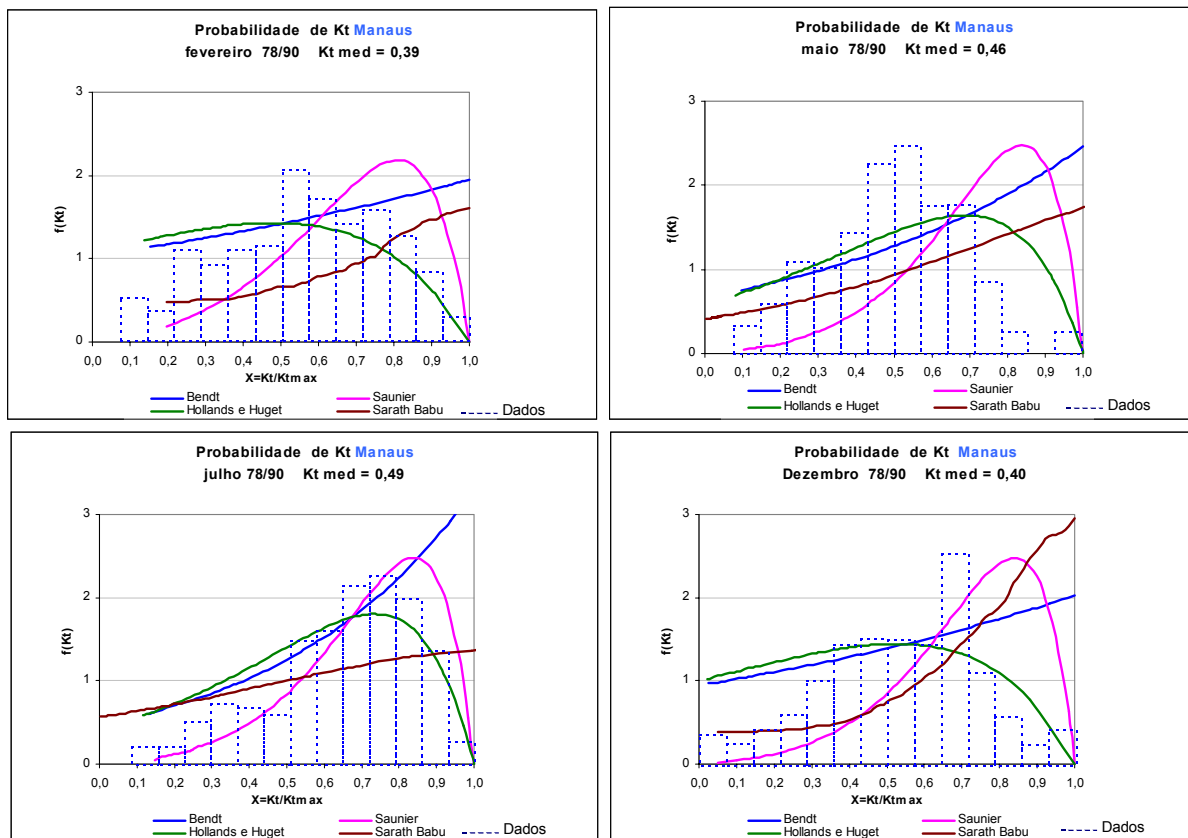


Figura 53 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Manaus.

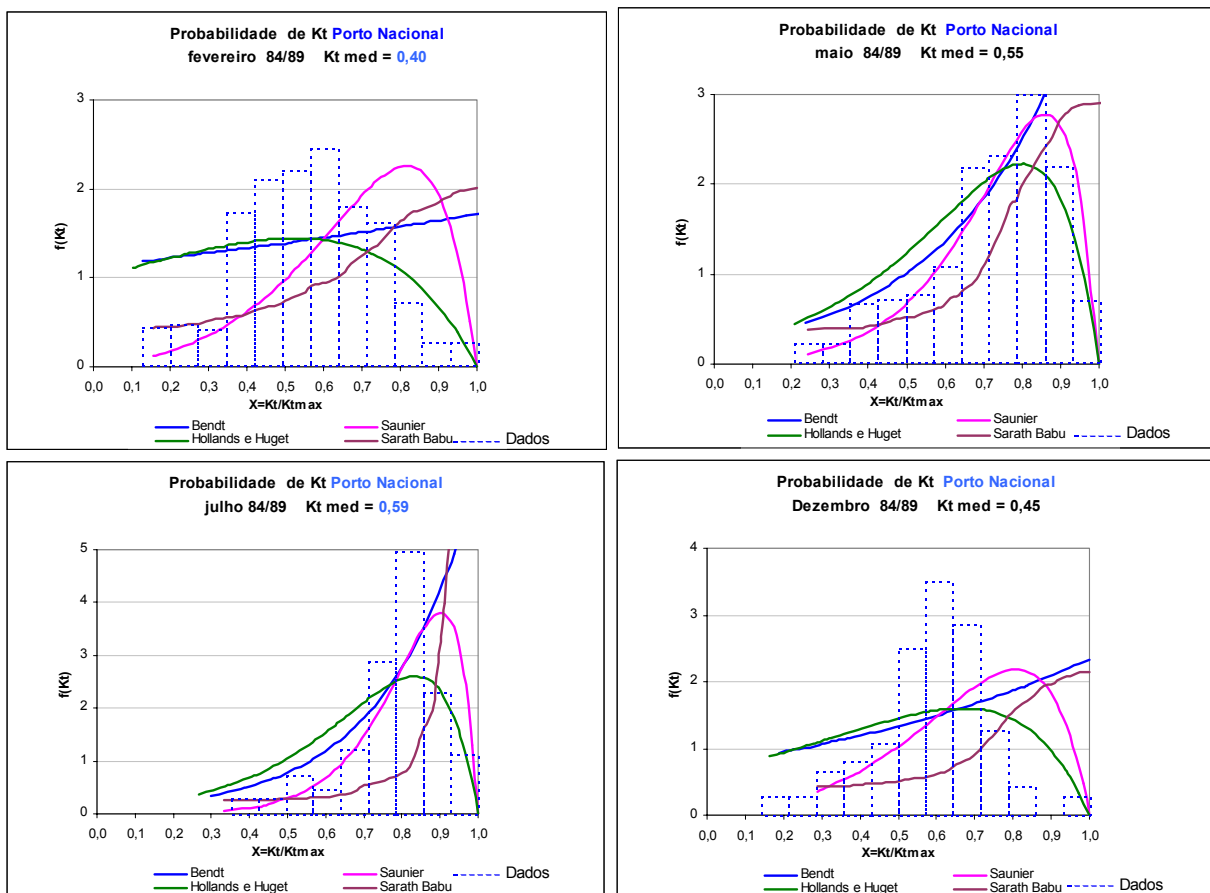


Figura 54 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Porto Nacional.

Região Nordeste

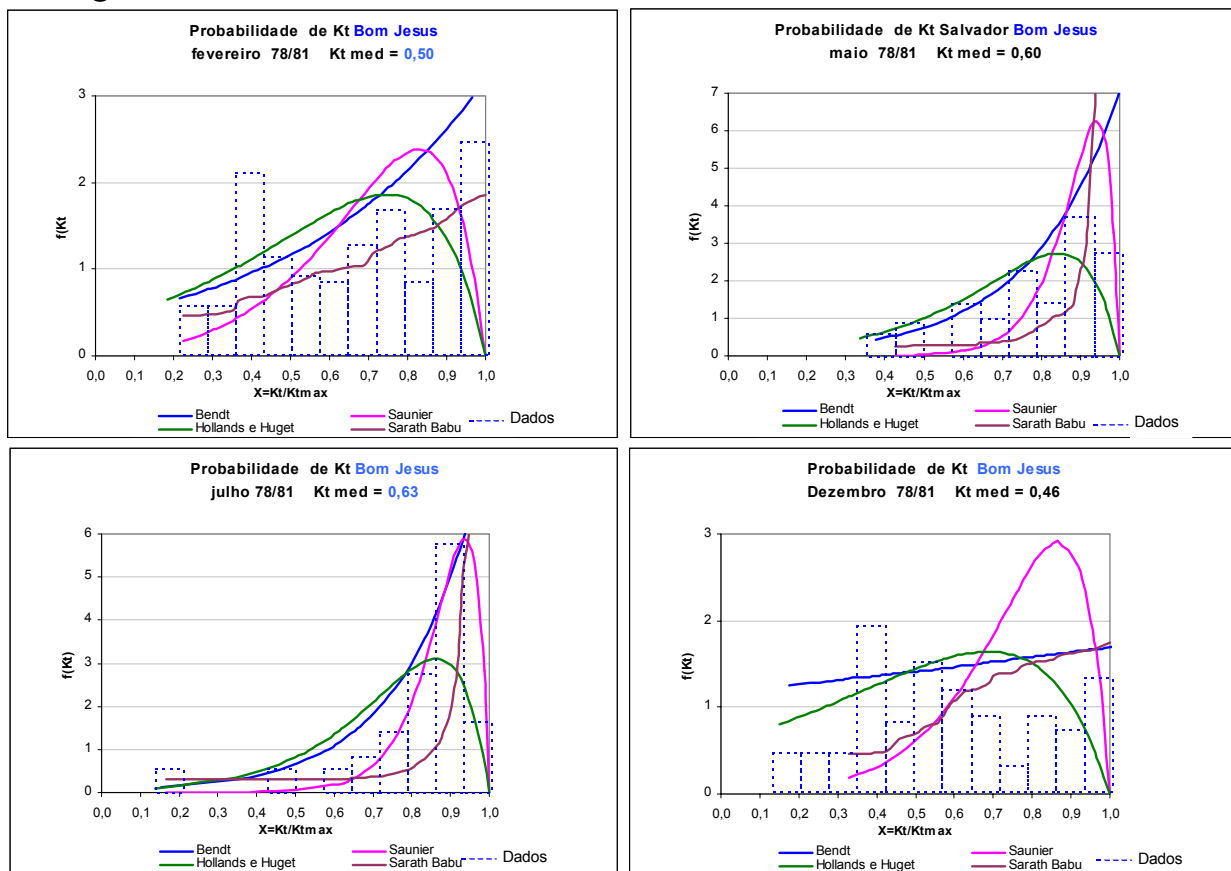


Figura 55 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Bom Jesus.

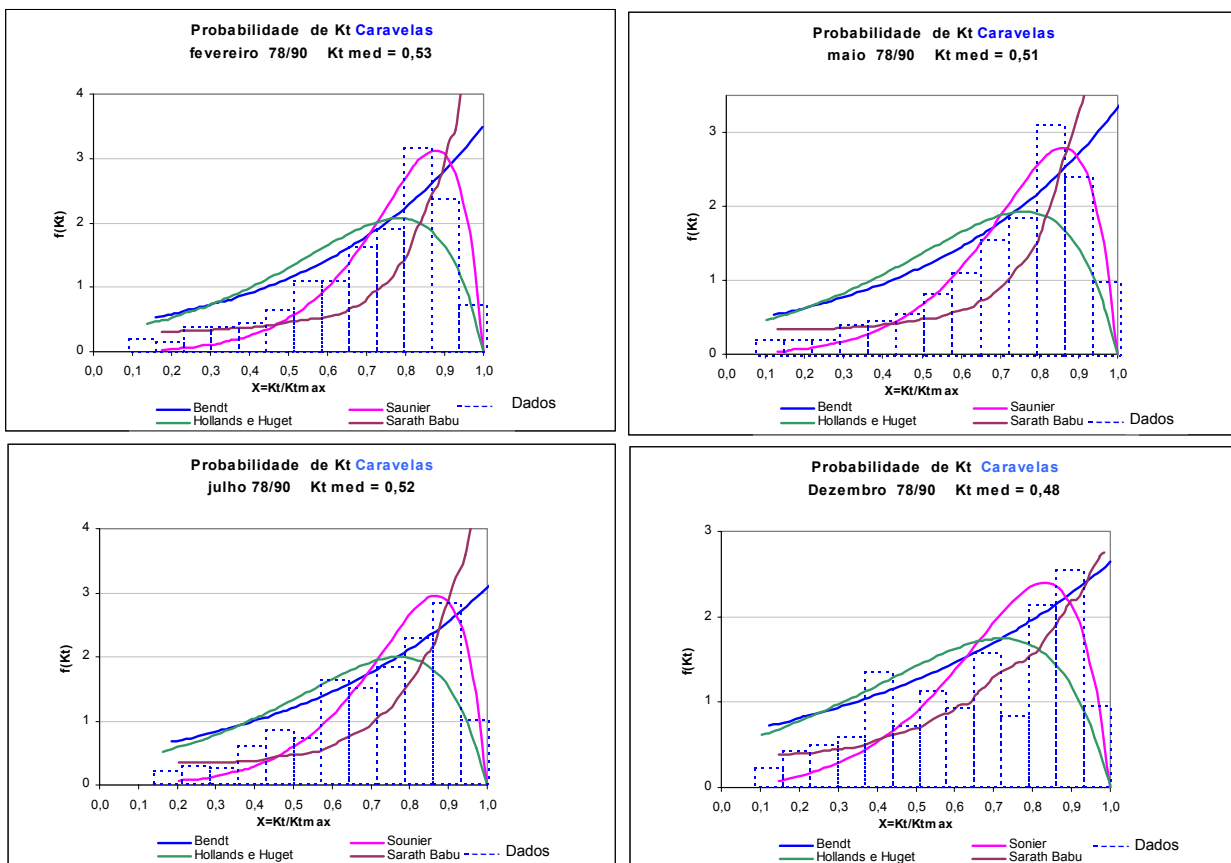


Figura 56 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Caravelas.

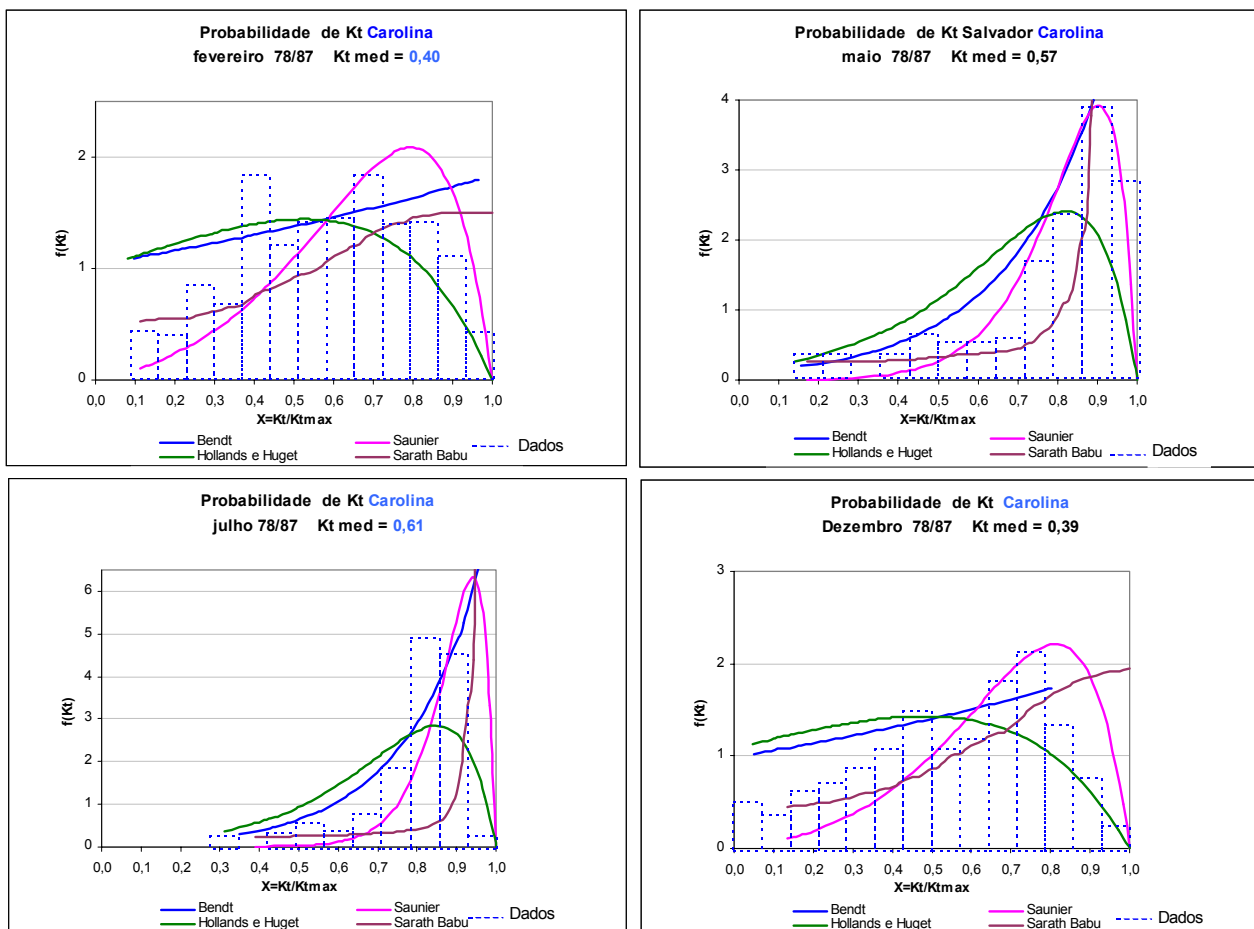


Figura 57 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Carolina.

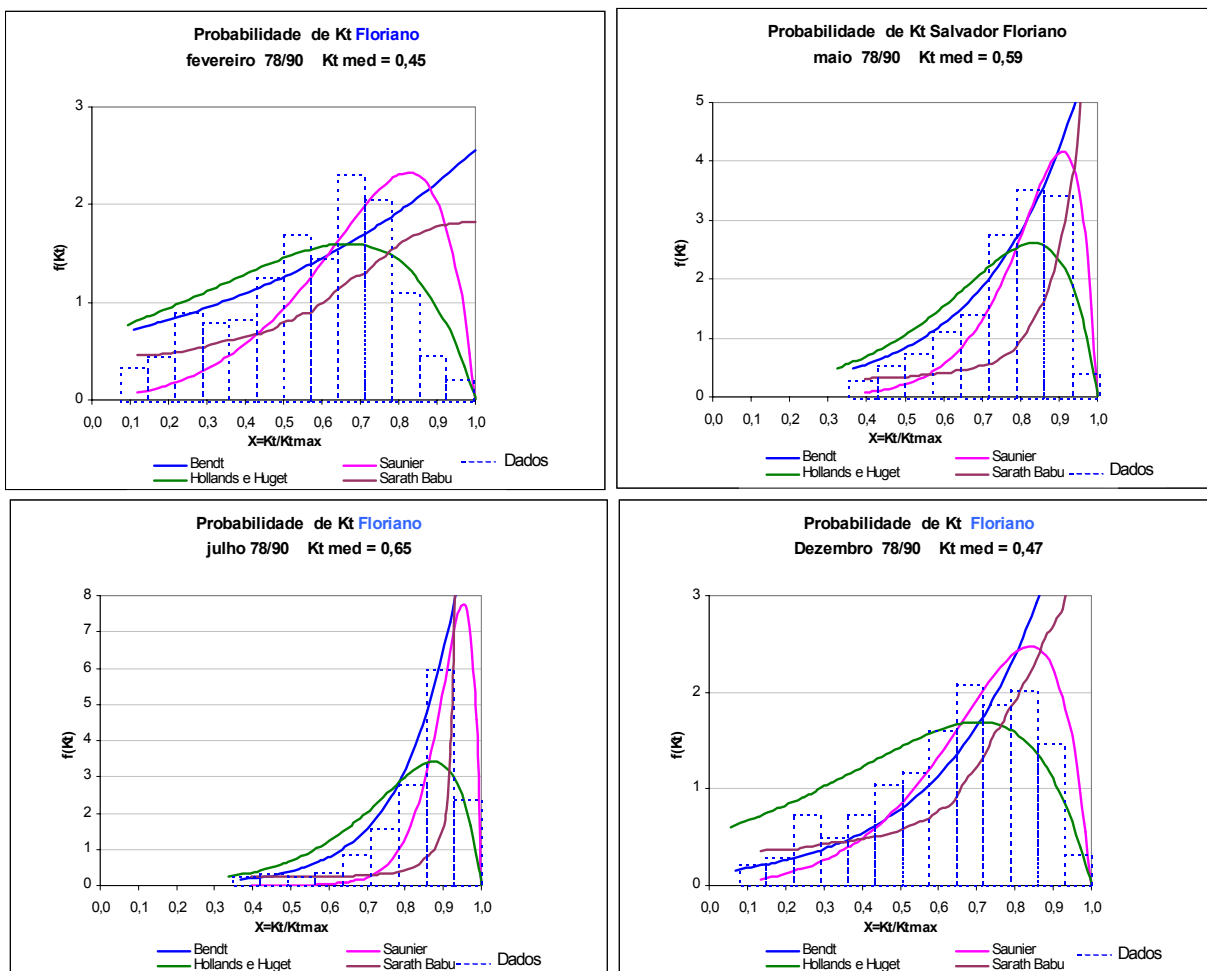


Figura 58 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Floriano.

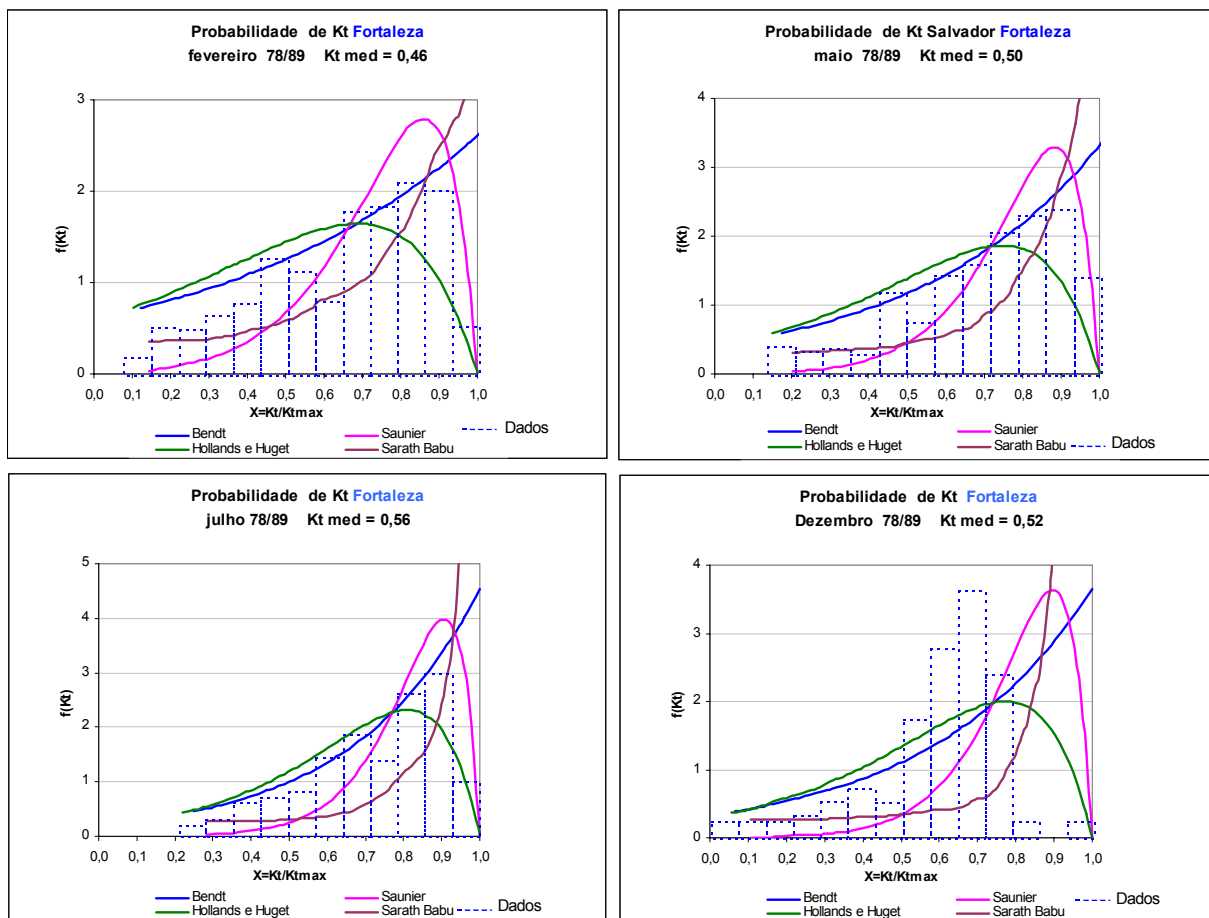


Figura 59 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Fortaleza.

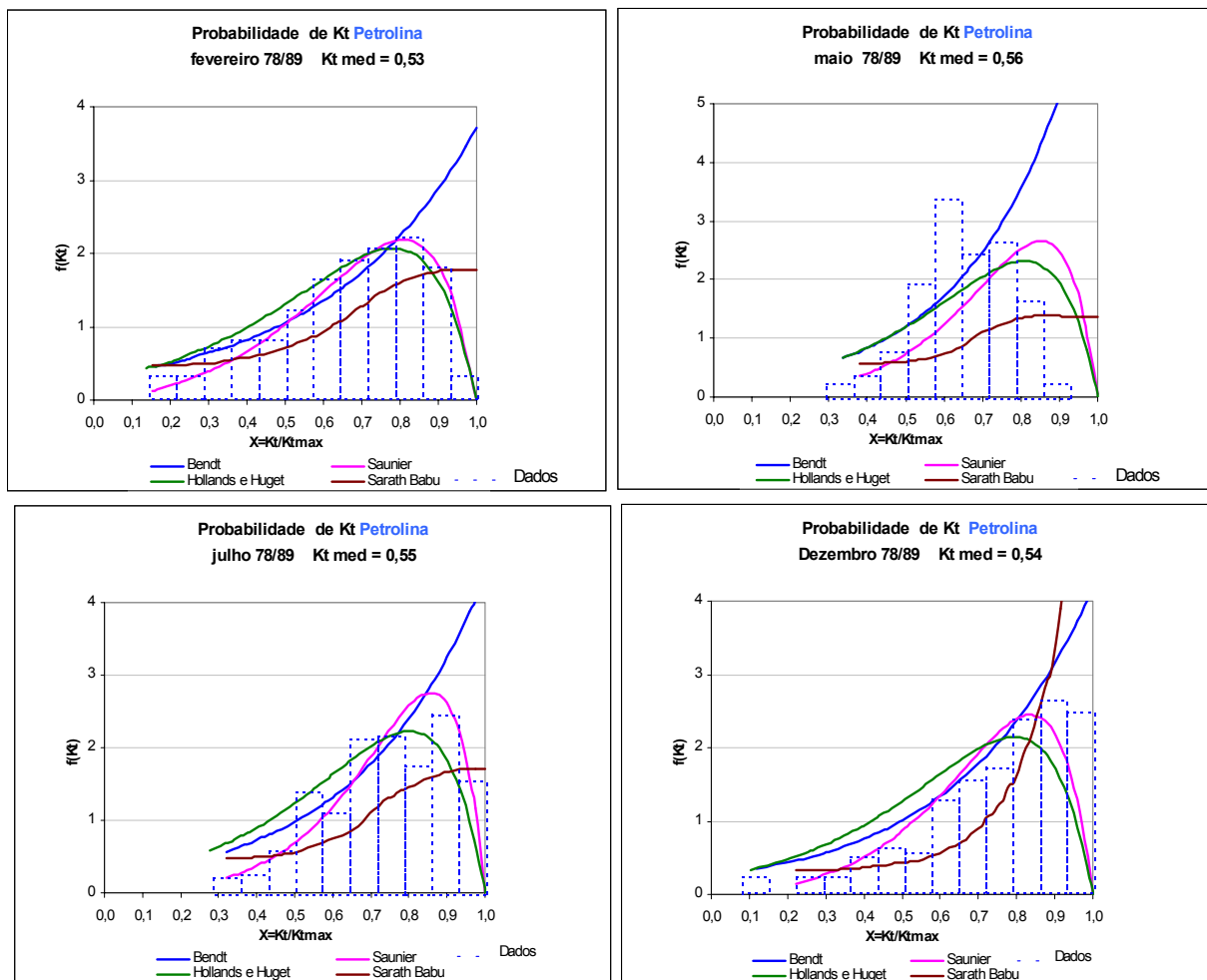


Figura 60 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Petrolina.

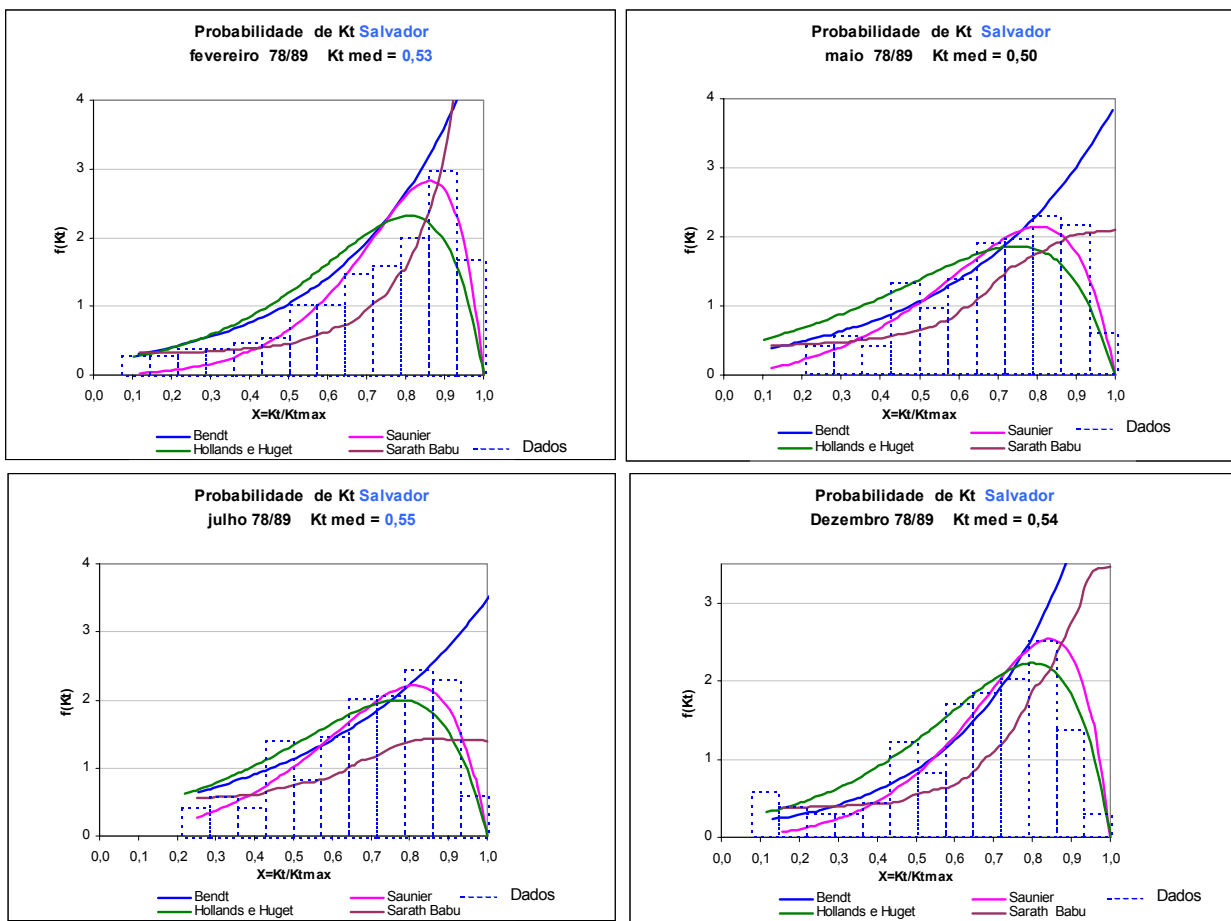


Figura 61 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Salvador.

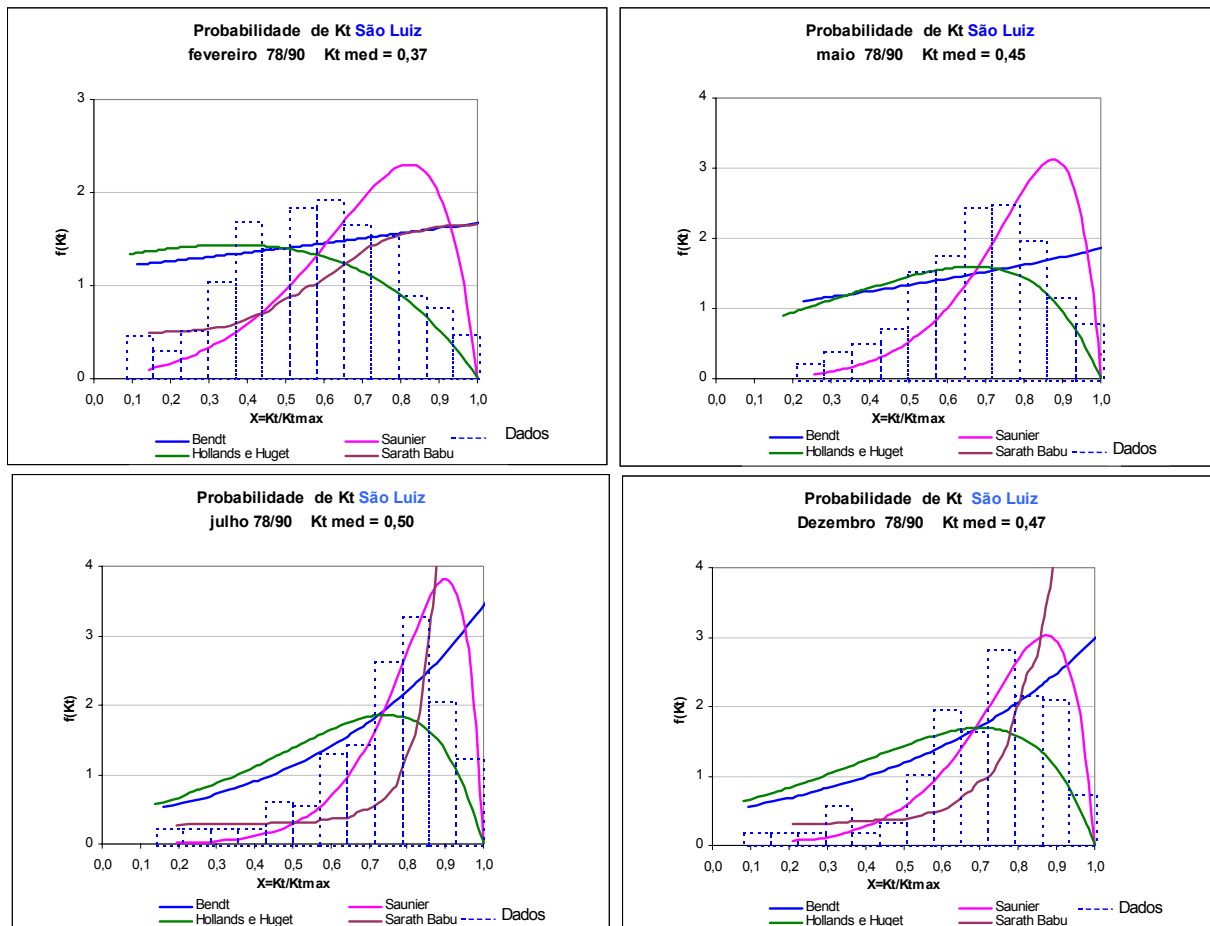


Figura 62 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de São Luiz.

Região Centro Oeste

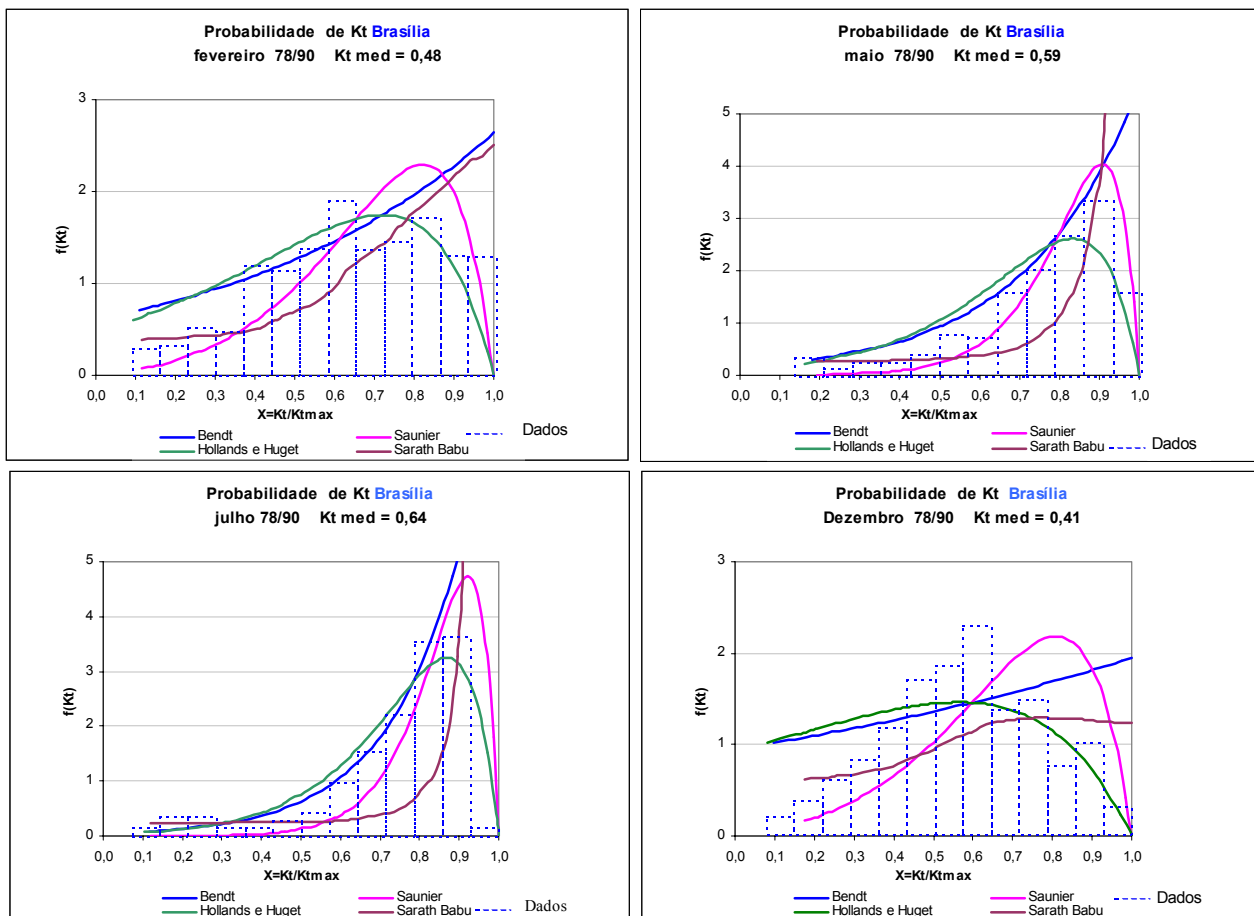


Figura 63 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Brasília.

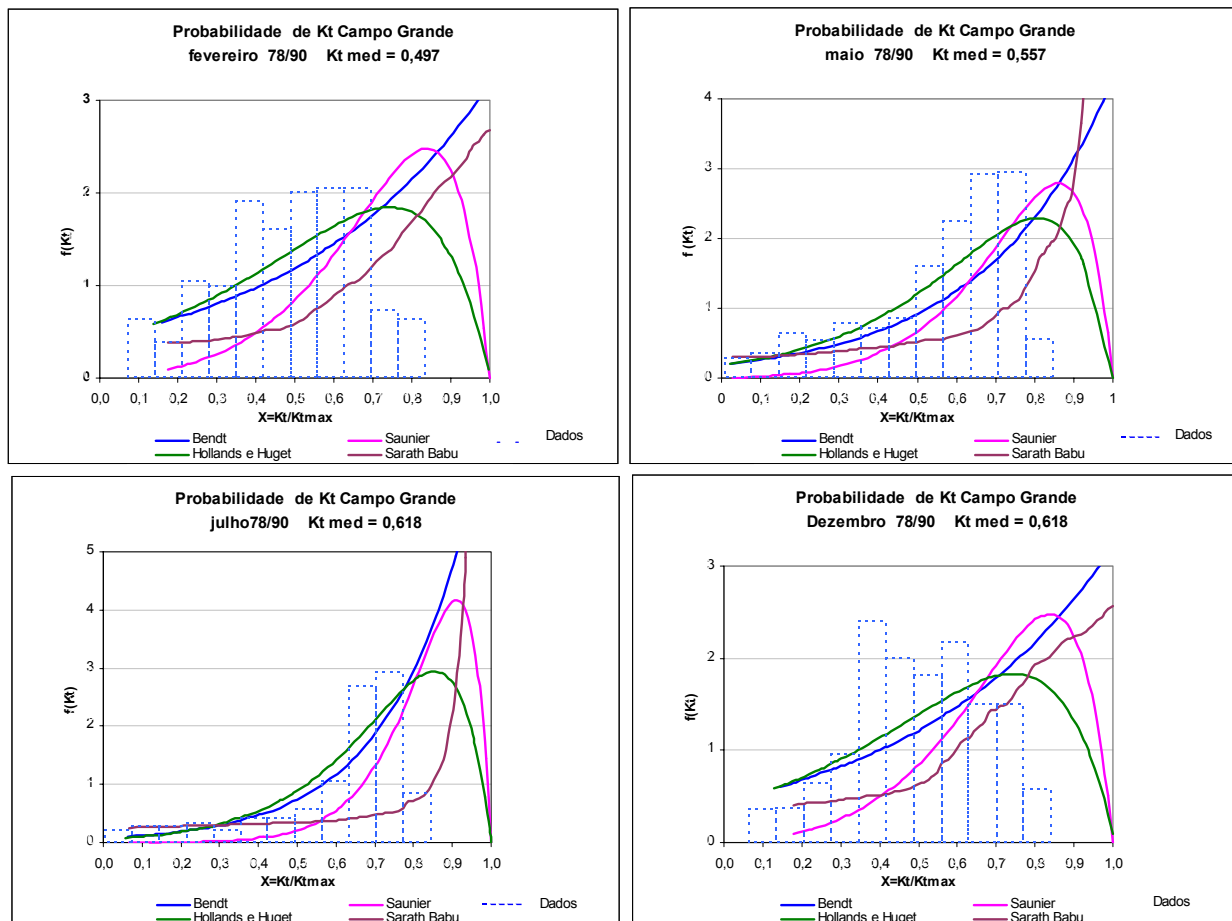


Figura 64 – Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Campo Grande.

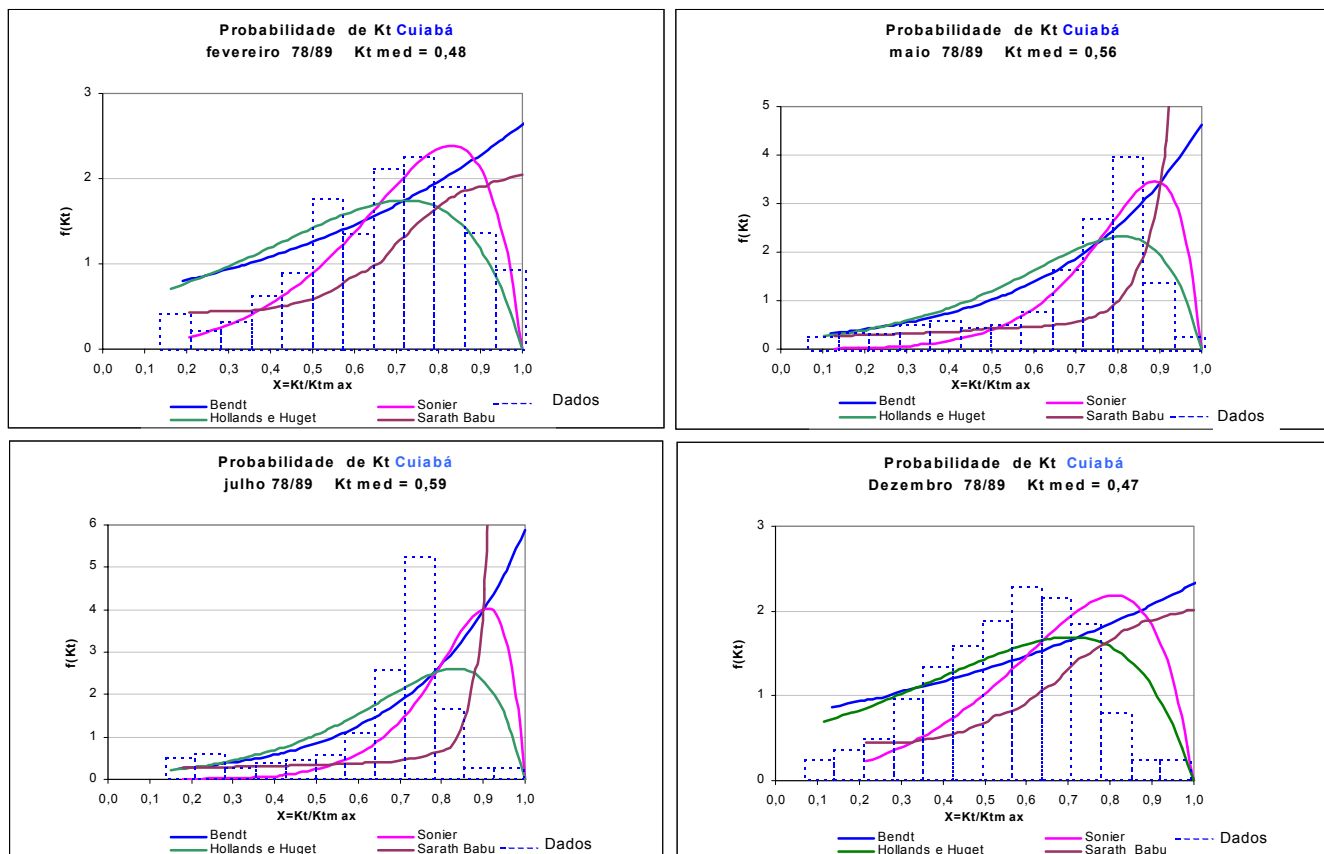


Figura 65 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Cuiabá.

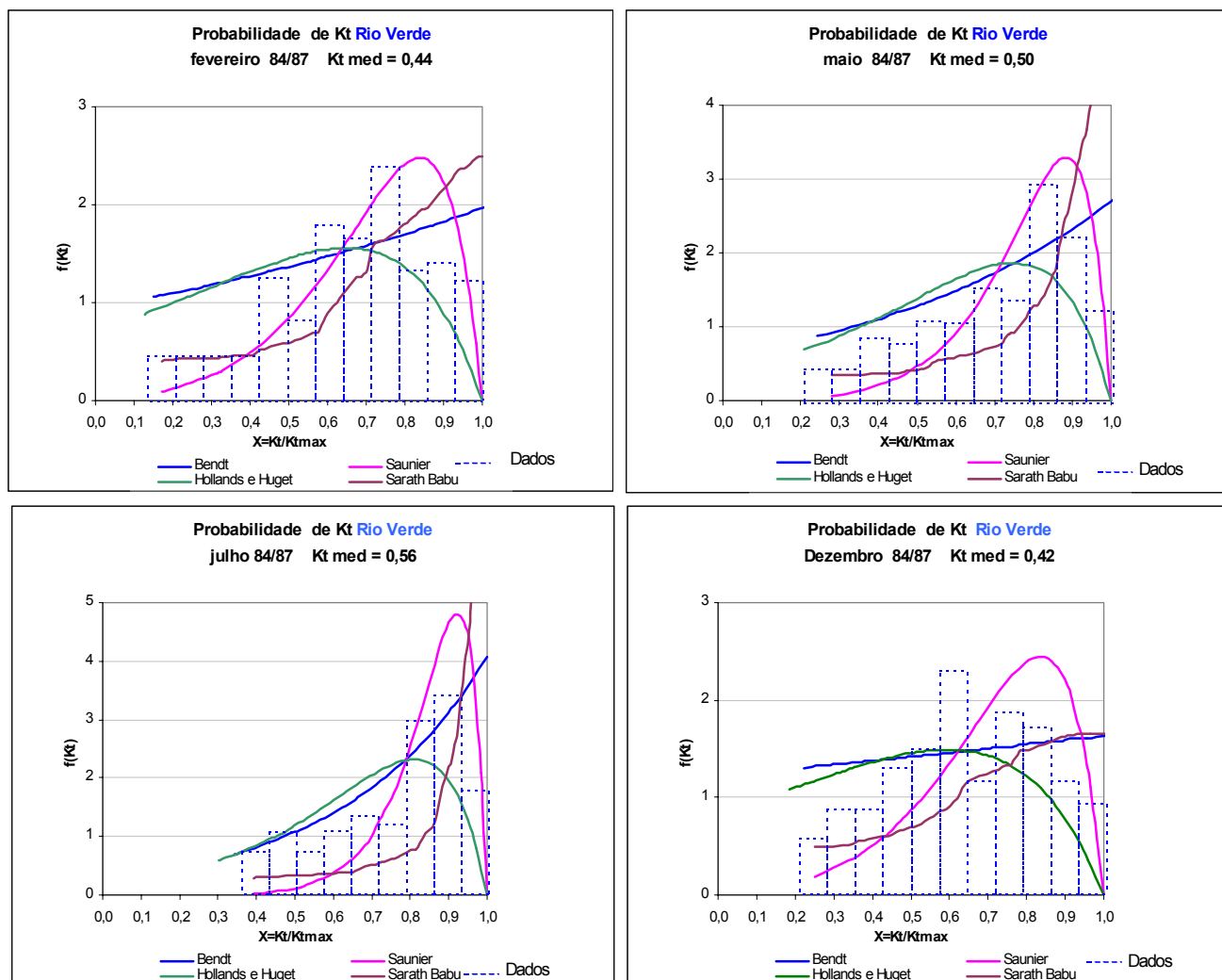


Figura 66 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Rio Verde.

Região Sudeste

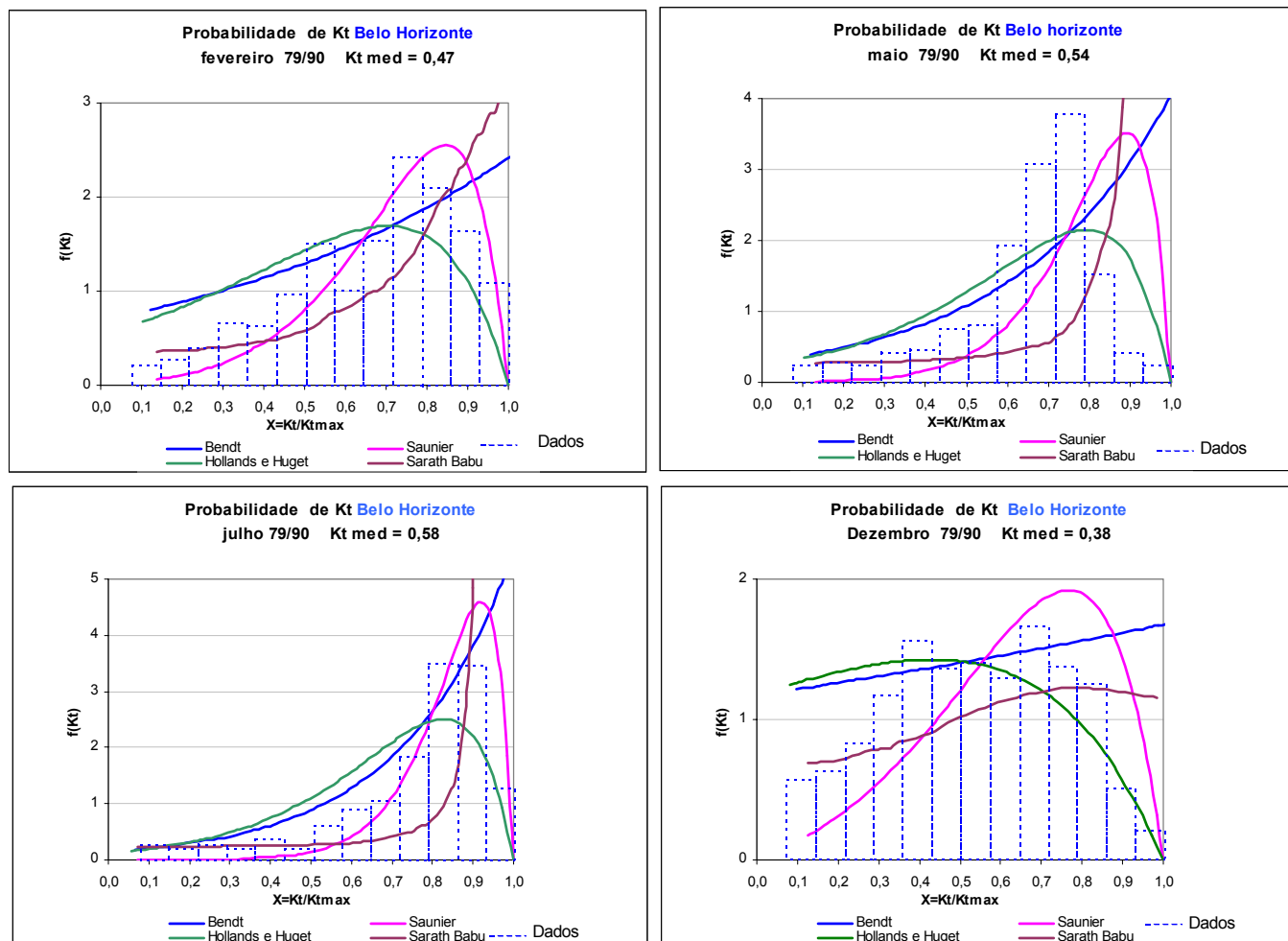


Figura 67 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Belo Horizonte.

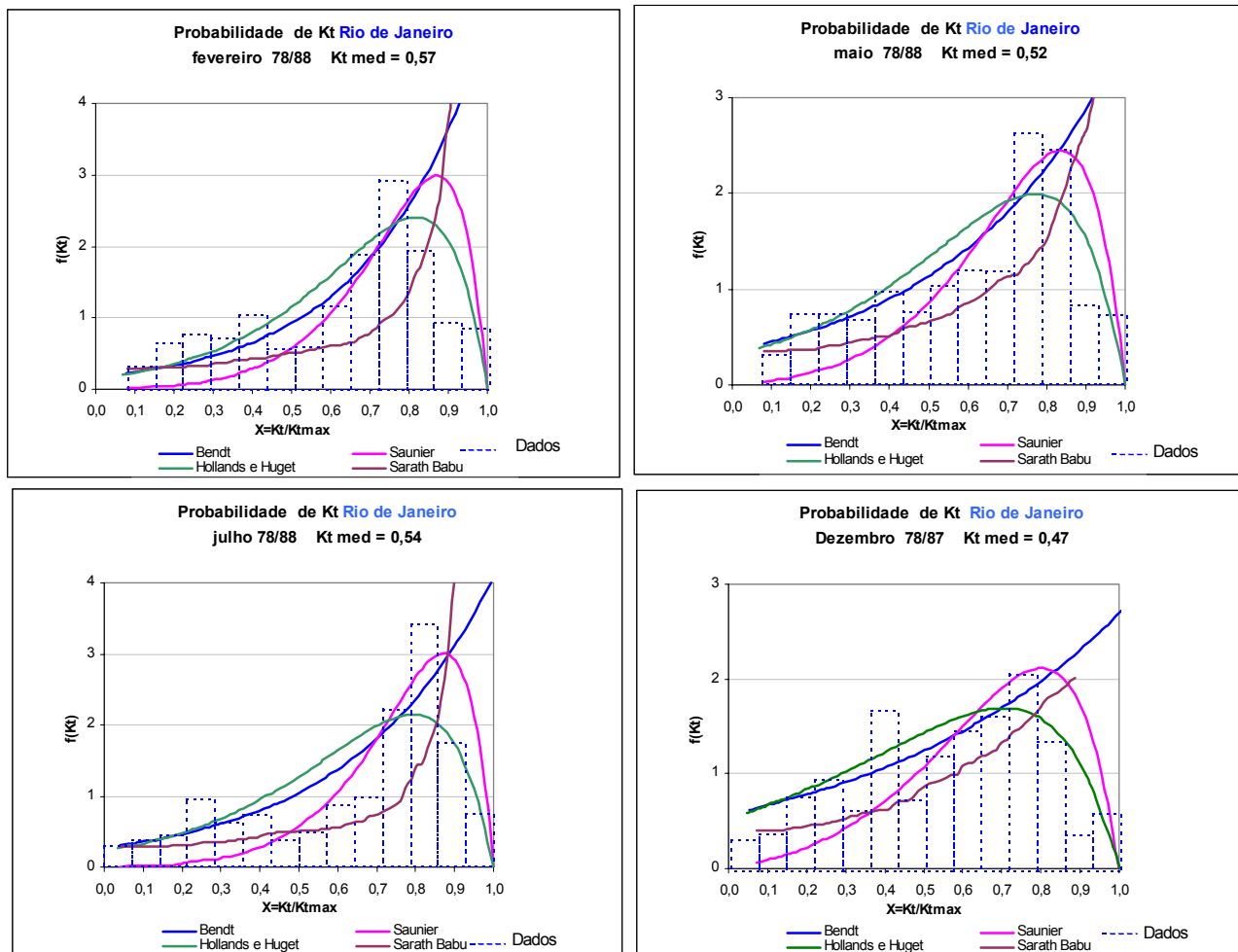


Figura 68 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade do Rio de Janeiro.

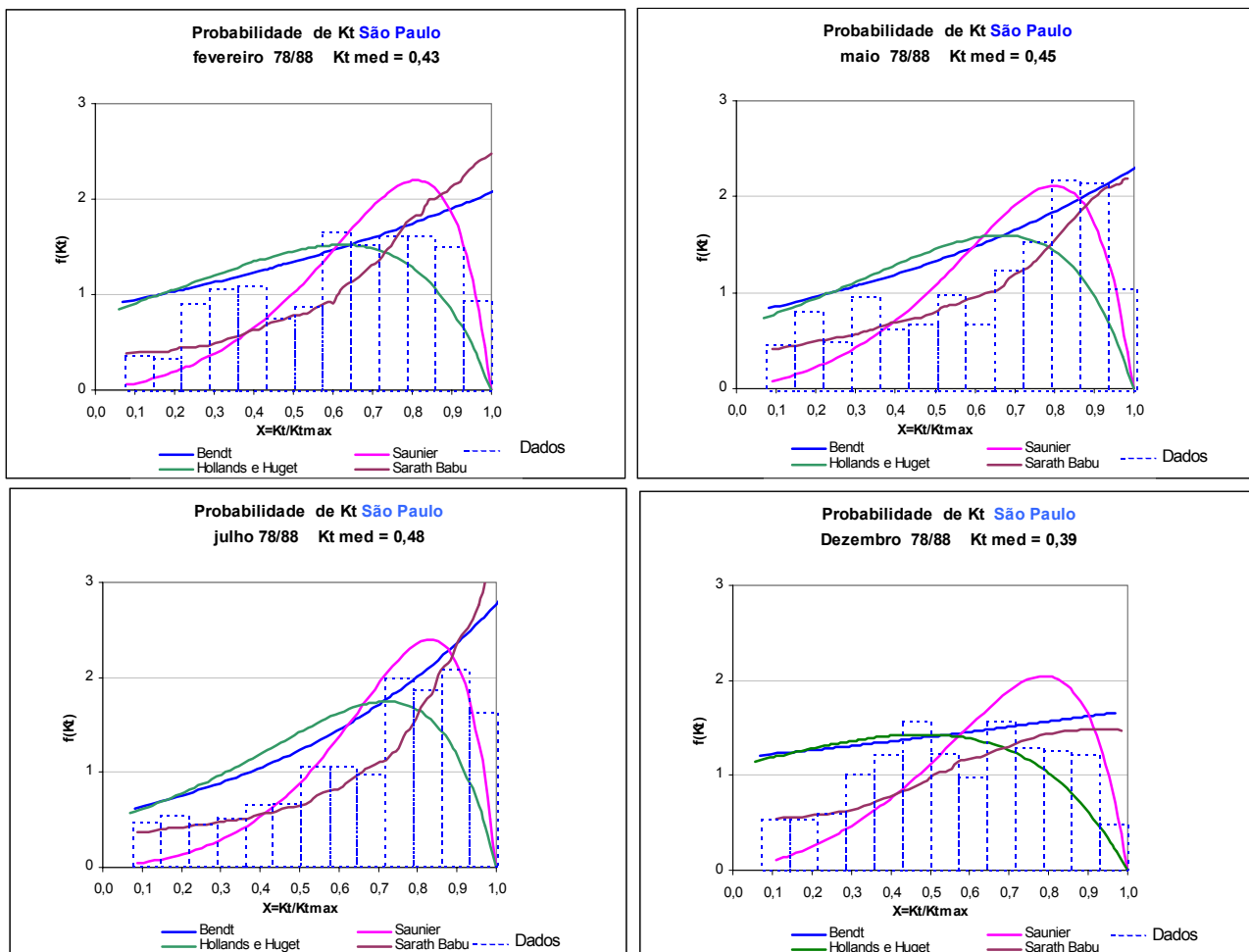


Figura 69 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de São Paulo.

Região Sul

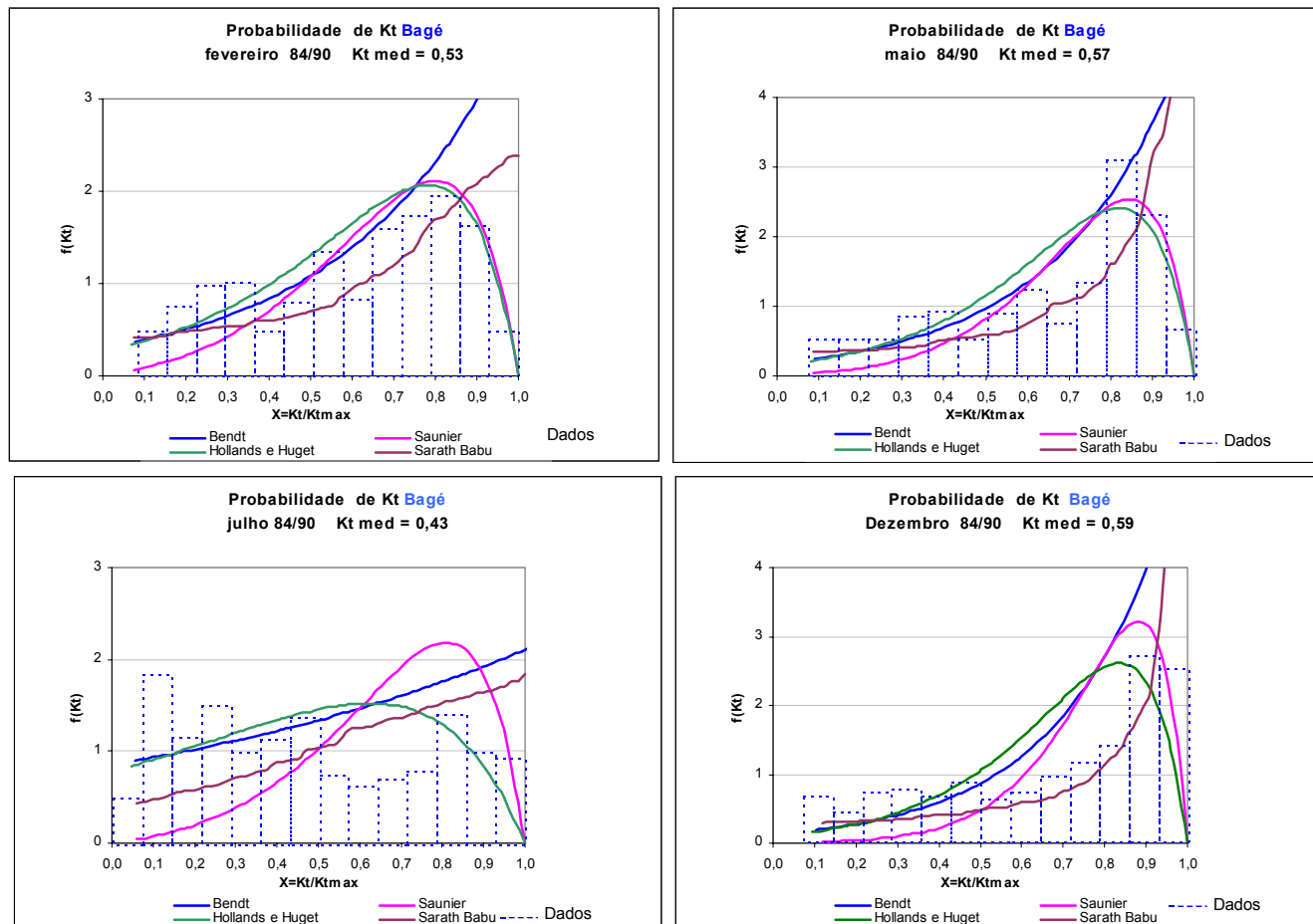


Figura 70 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Bagé.

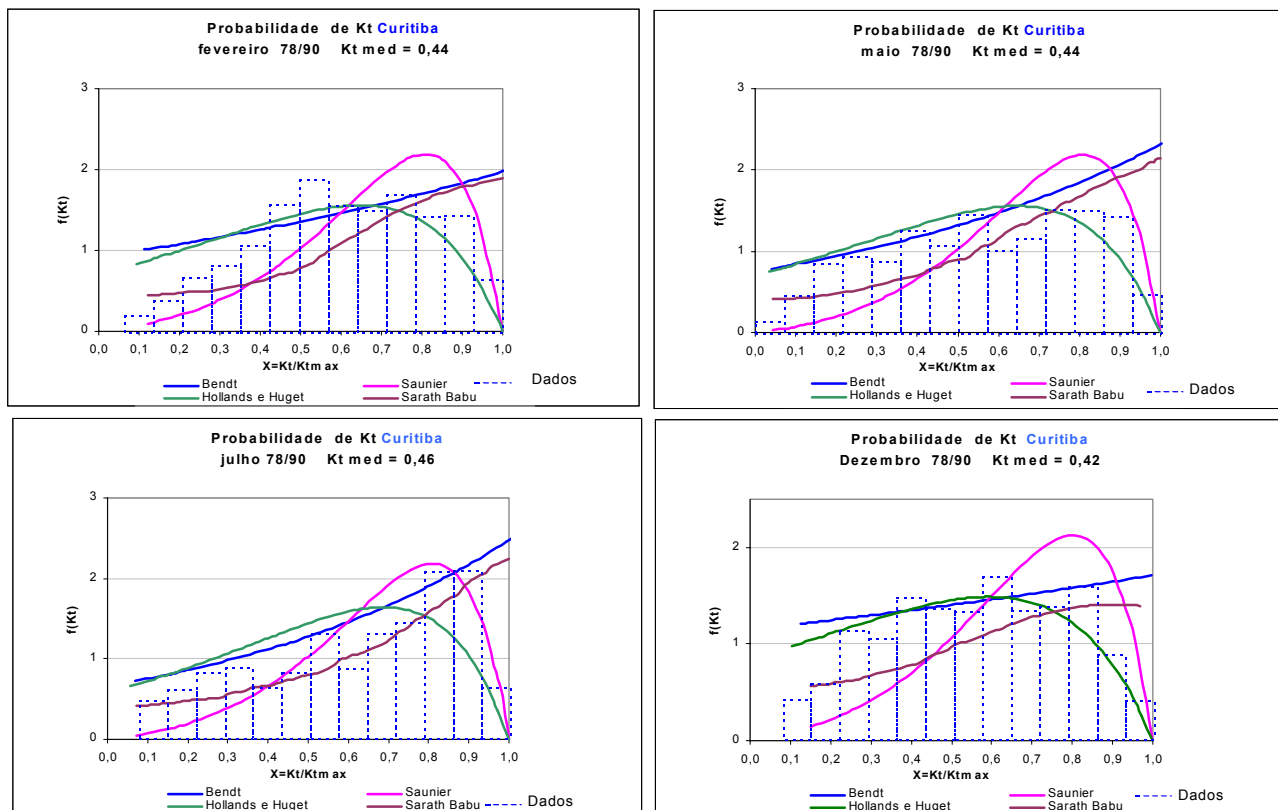


Figura 71 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Curitiba.

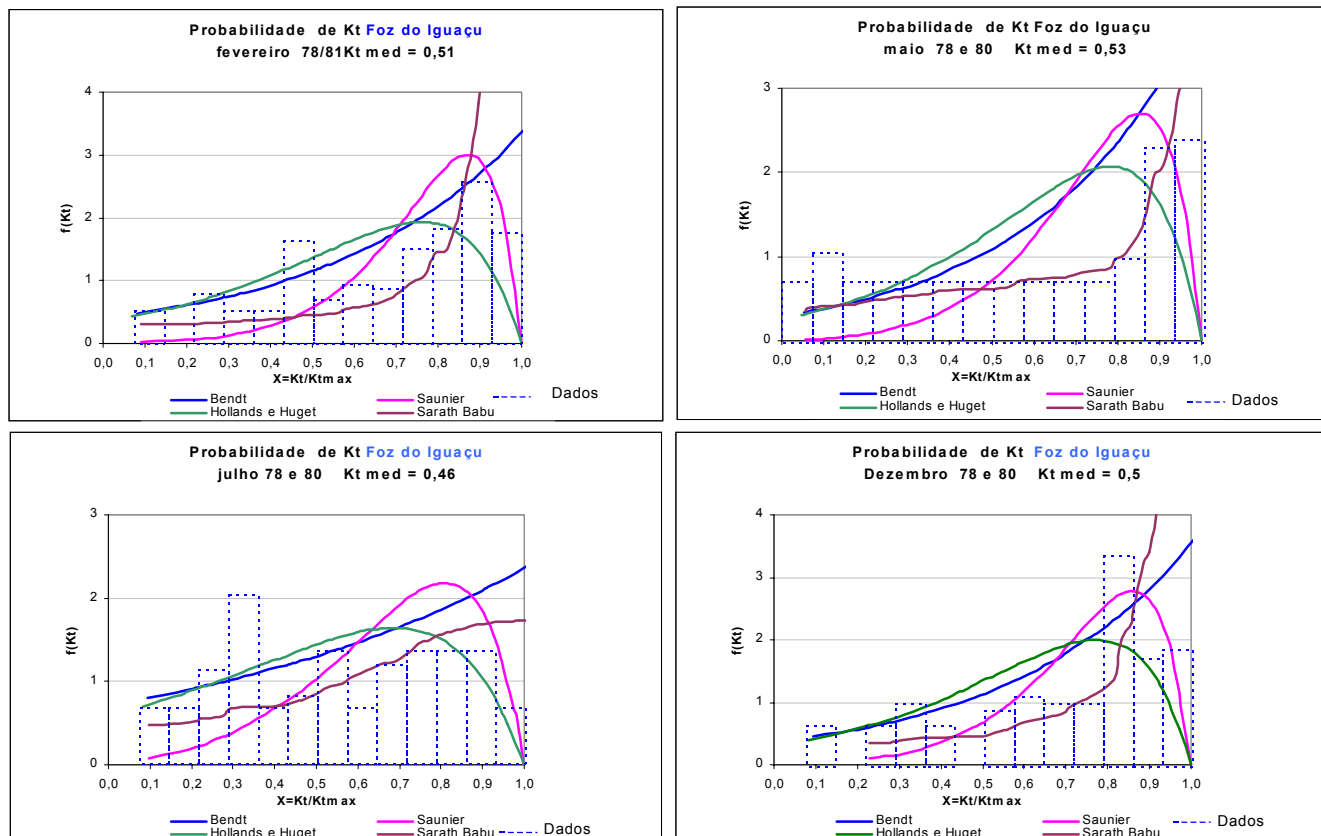


Figura 72 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Foz do Iguaçu.

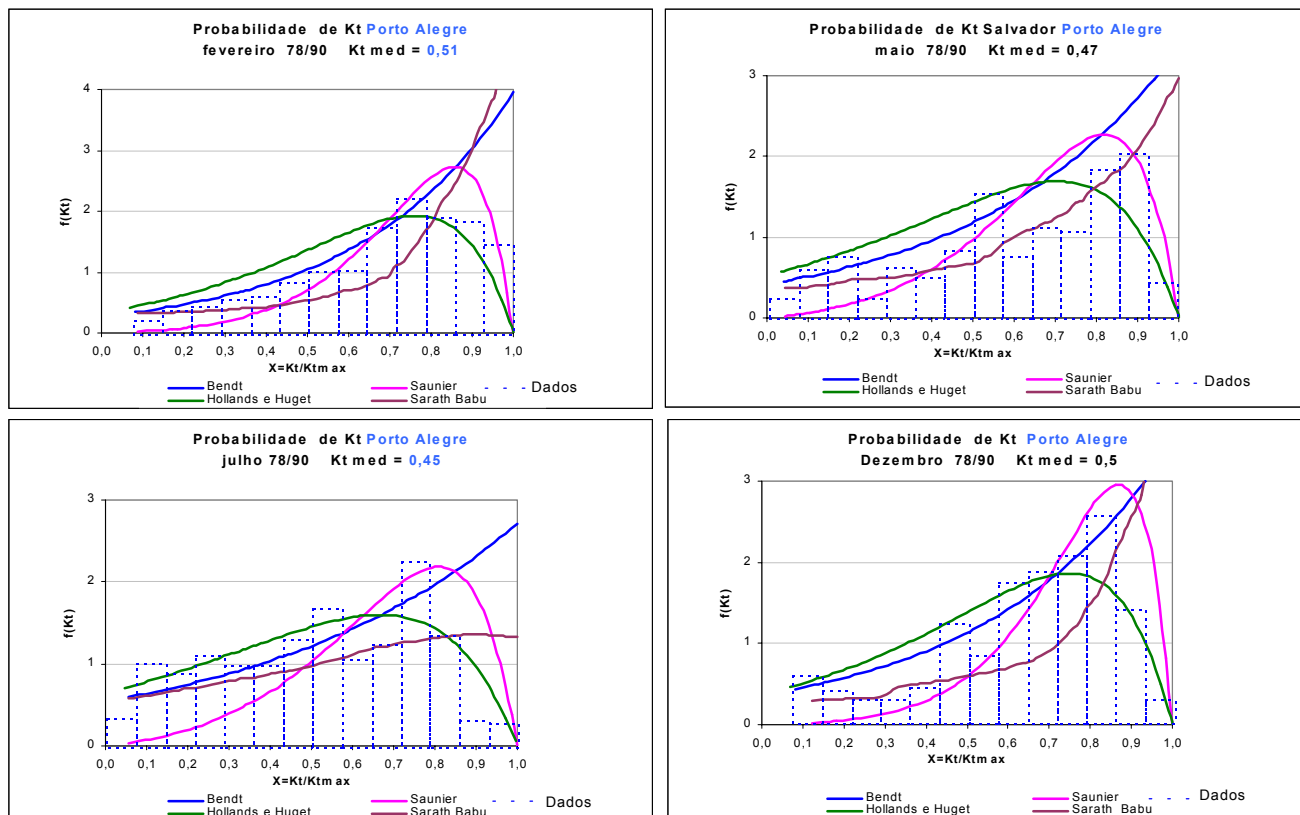


Figura 73 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de Porto Alegre.

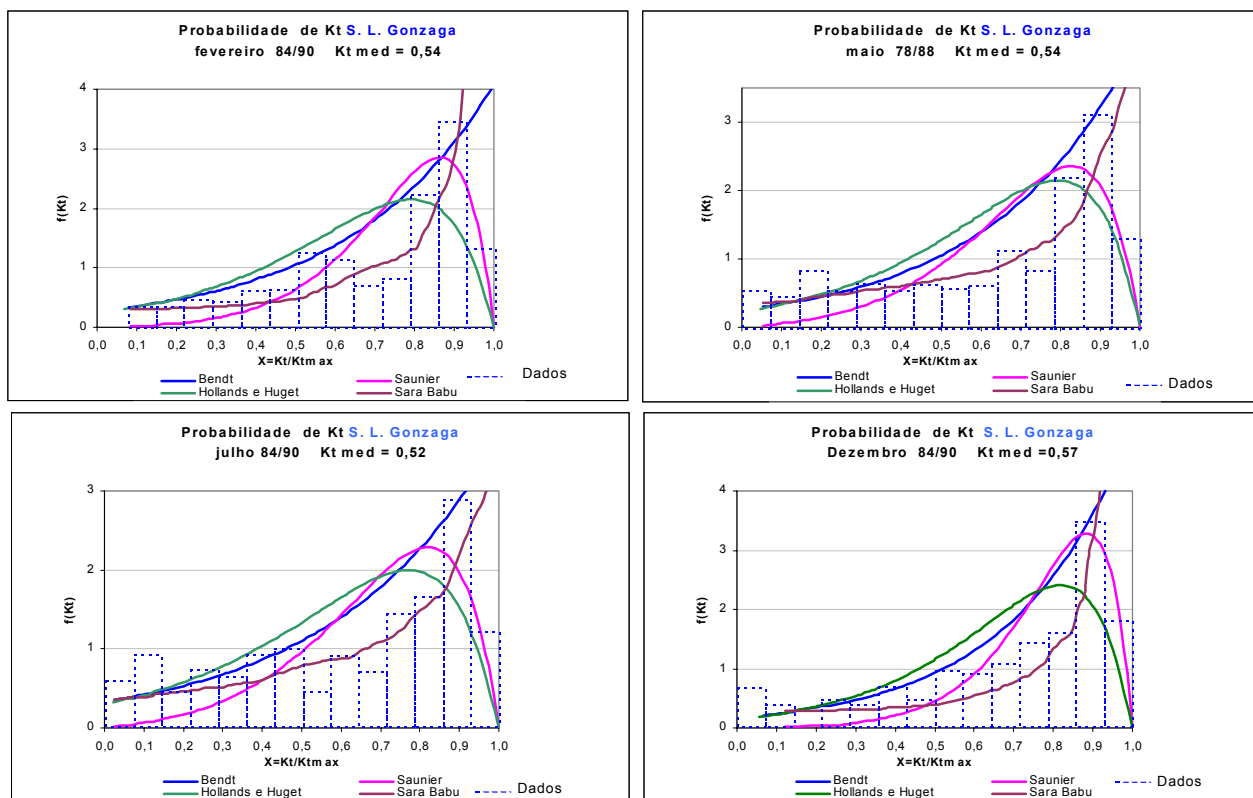


Figura 74 - Desempenho da função densidade de probabilidade para a cidade de S.L.Gonzaga.