



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI  
CURSO DE BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM BIOSISTEMAS

**ANÁLISE DE SOBREVIVÊNCIA DE OPERÁRIAS DE ABELHAS  
AFRICANIZADAS SOB DIFERENTES TEMPERATURAS**

**THELMO GONÇALVES DE SOUZA OLIVEIRA**

**SÃO JOÃO DEL REI –MG  
NOVEMBRO 2014**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI  
CURSO DE BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM BIOSSISTEMAS

# **ANÁLISE DE SOBREVIVÊNCIA DE OPERÁRIAS DE ABELHAS AFRICANIZADAS SOB DIFERENTES TEMPERATURAS**

Monografia submetida ao corpo docente da coordenação do Curso de Graduação Bacharelado Interdisciplinar em Biossistemas, da Universidade Federal de São João Del - Rei, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Bacharel em Biossistemas.

Orientadora: Carla Regina Guimarães Brighenti

**THELMO GONÇALVES DE SOUZA OLIVEIRA**

**SÃO JOÃO DEL REI-MG  
NOVEMBRO 2014**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI  
CURSO DE BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM BIOSISTEMAS

# **ANÁLISE DE SOBREVIVÊNCIA DE OPERÁRIAS DE ABELHAS AFRICANIZADAS SOB DIFERENTES TEMPERATURAS**

**THELMO GONÇALVES DE SOUZA OLIVEIRA**

Monografia submetida ao corpo docente da coordenação do Curso de Graduação Bacharelado Interdisciplinar em Biosistemas, da Universidade Federal de São João Del - Rei, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Bacharel em Biosistemas.

DATA DA DEFESA:

COMISSÃO EXAMINADORA:

---

Deodoro Magno Brighenti

---

Mario Wilian Dávila Dávila

---

Carla Regina Guimarães Brighenti

**SÃO JOÃO DEL REI-MG**

**NOVEMBRO 2014**

**THELMO GONÇALVES DE SOUZA OLIVEIRA**

**ANÁLISE DE SOBREVIVÊNCIA DE OPERÁRIAS DE  
ABELHAS AFRICANIZADAS SOB DIFERENTES  
TEMPERATURAS**

Defesa Aprovada pela Comissão Examinadora em : \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Comissão Examinadora:

---

Profª. Dr. Deodoro Magno Brighenti  
Universidade Federal de São João Del Rei

---

Prof. Dr. Mario Wilian Dávila Dávila  
Universidade Federal de São João Del Rei

---

Profª. Dra. Carla Regina Guimarães Brighenti  
Universidade Federal de São João Del Rei  
Presidente

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Teodoro José Eustáquio de Oliveira e Nora Gonçalves de Souza Oliveira pelo apoio e confiança durante toda minha graduação e a todos meus familiares pelo apoio e carinho. Deodoro e Carla, por tudo!

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família pelo apoio incondicional sempre, desde o primeiro momento em que decidi fazer Zootecnia, por acreditar e respeitar minhas decisões, pelo incentivo aos estudos, pelo suporte e ajuda a explorar ao máximo a vida acadêmica.

Agradeço a minha professora, orientadora, Carla Regina Guimarães Brighenti, pela oportunidade já no segundo período, pela confiança, paciência, dedicação, compreensão, pelos ensinamentos, conhecimentos, pela experiência de vida, pelas participações nos mais diversos congressos. O meu muito obrigado por tudo. Fica aqui minha admiração, respeito e carinho pela pessoa e profissional.

Agradeço ao meu professor, orientador, Deodoro Magno Brighenti, por me apresentar o fascinante mundo das abelhas, pela paciência, inúmeros ensinamentos, ética, confiança, diversas oportunidades, pela amizade. O meu muito obrigado por tudo. Fica aqui minha admiração, respeito e carinho pela pessoa e profissional.

Agradeço a todos os professores, pelos diversos conhecimentos adquiridos, pelo esforço e preocupação com a qualidade do curso, pelas diversas e variadas aulas práticas.

Agradeço amigos de turma, companheiros de luta, sobreviventes, pelos momentos de descontração e noites viradas estudando. Aos amigos, Lobão, Titio, Robertinho, Leitinho, Cabrón, Biscate, pela amizade e momentos de descontração, aos companheiros de todas repúblicas que passei e à todos que conheci em São João del-Rei, que de certa forma compartilharam experiências e contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional .

Agradeço a todos, que direta ou indiretamente contribuíram para mais esta conquista.

***“Não há fatos eternos, como não há verdades absolutas.  
Aquilo que se faz por amor está sempre além do bem e do mal”.***

***Friedrich Nietzsche***

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS .....	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT .....	ix
1- Introdução .....	01
2- Revisão de Literatura .....	02
2.1- Análise de Sobrevivência.....	02
2.1.1- Distribuição de Weibull.....	03
2.2- Longevidade de Operárias de <i>Apis mellifera</i> .....	06
3- Material e Métodos .....	09
4- Resultados e Discussão.....	12
5- Considerações Finais .....	24
6- Referencial Bibliográfico.....	25
7- Anexos .....	27



## LISTA DE FIGURAS

Figuras	Descrição
Figura 1	Modelos de curvas de densidade de probabilidade da distribuição Weibull com diferentes valores do parâmetro de forma $\alpha$ , matendo $\beta$ constante.
Figura 2	Modelos de curvas de densidade de probabilidade da distribuição Weibull com diferentes valores do parâmetro de escala $\beta$ , sendo $\alpha$ constante.
Figura 3	Gaiolas em câmaras climáticas.
Figura 4	Percentual acumulado de mortalidade de operárias de abelhas africanizadas em relação ao tempo, considerando-se os diferentes tratamentos utilizados.
Figura 5	Percentual acumulado de mortalidade de operárias de abelhas africanizadas em relação a temperatura, durante os dez dias de acompanhamento do experimento.
Figura 6	Percentual de mortalidade de operárias de abelhas africanizadas nos diferentes tratamentos.
Figura 7	Curvas de sobrevivência para modelo Weibull versus a curva de sobrevivência estimada por Kaplan-Meier
Figura 8	Curvas de sobrevivência de abelhas africanizadas confinadas em câmaras climáticas sob diferentes temperaturas.
Figura 9	Sobrevivências estimadas por Kaplan-Meier versus as sobrevivências estimadas pelo modelo Weibull sob diferentes temperaturas.

## LISTA DE TABELAS

Tabelas	Descrição
Tabela 1	Funções de Distribuições de Sobrevivência
Tabela 2	Média do tempo de vida e taxa de mortalidade de operárias de abelhas africanizadas sob diferentes temperaturas após 10 dias de confinamento em câmaras climáticas.
Tabela 3	Logaritmo da função $L(\theta)$ para diferentes temperaturas.
Tabela 4	Parâmetros de forma $\alpha$ e escala $\beta$ estimados para as curvas de sobrevivência do modelo de Weibull $S(t) = \exp\left\{-(t/\beta)^\alpha\right\}$ para diferentes temperaturas.
Tabela 5	Estimativas da sobrevivência para os respectivos tempos usando-se o modelo de Weibull.
Tabela 6	Tempo letal de vida até a mortalidade de 10%(TL <sub>10</sub> ), 20%(TL <sub>20</sub> ), 50% (TL <sub>50</sub> ) e para o tempo de extinção da população (TL <sub>99</sub> ) de diferentes temperaturas da <i>Apis mellifera</i> . UR $70 \pm 10\%$ e fotoperíodo de 12 horas.

## RESUMO

A análise de sobrevivência é utilizada normalmente em experimentos, em que a variável resposta é o tempo até a ocorrência de um evento de interesse, com dados censurados, ou seja, quando não se sabe exatamente o tempo em que o evento ocorreu. Este é o caso, por exemplo, da avaliação do tempo de vida de abelhas, confinadas em câmaras climáticas. Este trabalho foi realizado com o objetivo de se avaliar o tempo de vida de operárias de abelhas africanizadas, quando expostas a diferentes temperaturas, mediante ajuste de três modelos de sobrevivência. O experimento teve duração de 10 dias e a coleta de dados ocorreu a cada 24 horas, caracterizando a presença de censuras. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com 5 tratamentos e 10 repetições cada, caracterizados pelas temperaturas de manutenção das câmaras climáticas: 15°C, 20°C, 25°C, 30°C e 35°C. As abelhas foram alimentadas com mel cristalizado e mantidas com fotoperíodo de 12 horas. Sob essas condições, foi possível verificar a influência da temperatura na sobrevivência de operárias de abelhas africanizadas. A análise estatística inicialmente procedeu-se com a verificação de ajustes dos dados às distribuições Exponencial, Weibull e Log-normal através do cálculo do logaritmo da razão de verossimilhanças e os parâmetros calculados a partir de rotina desenvolvida no software gratuito R - 3.1.1. Os modelos Weibull e Log-normal foram os que melhor se ajustaram, sendo adotada a distribuição Weibull para análise dos dados. Posteriormente obteve-se a função de sobrevivência e as curvas de sobrevivência. Além disso, obteve-se os valores dos tempos letais para mortalidade de 10%, 20%, 50% e 99% da população. Observou-se que o maior tempo para extinção da população ( $TL_{99}$ ) foi obtido com o ajuste da função à temperatura de 20°C, indicando que esta temperatura pode prolongar a vida destes insetos. No entanto, para os tempos letais até a mortalidade de 10% ( $TL_{10}$ ) e 20% ( $TL_{20}$ ) da população, obteve-se maior valor quando da utilização da temperatura de 35°C, indicando que para experimentos de curta duração a temperatura de 35°C seria mais indicada.

Palavras-chave: Tempo Letal, Distribuição de Weibull, Censura.

## ABSTRACT

Survival analysis is often used in experiments in which the response variable is the time until the occurrence of an event of interest, with censored data, in other words, when doesn't know what exactly time the event occurred. This is the case, for example, the evaluation of life of honeybees confined in climate chambers. This work was performed with the objective to evaluate the lifetime of Africanized honeybees, when exposed to different temperatures by adjusting three survival models. The experimental period was 10 days and data collection occurred every 24 hours, characterizing the presence of censure. Completely randomized design with 5 treatments and 10 repetitions each was used, characterized by the temperatures of maintenance of climatic chambers: 15°C, 20°C, 25°C, 30°C and 35°C. The honeybees were fed with crystallized honey and maintained with a photoperiod of 12 hours. Under these conditions, was possible to verify the influence of temperature on the survival of Africanized honeybees. Statistical analysis initially proceeded with the verification of data adjustment to distributions Exponential, Weibull and Log-normal by calculating the logarithm of the likelihood ratio and the parameters calculated from routine developed in the software R - 3.1.1. The Weibull and Log-normal models were the best fit, the Weibull distribution is adopted for data analysis. Subsequently was obtained the survival function and survival curve. Beyond that, were obtained the lethal time values for mortality of 10%, 20%, 50% and 99% of the population. It was observed that the longer time for extinction of the population (TL99) was obtained with the function setting temperature of 20 ° C, indicating that this temperature can prolong the life of the insects. However, time for lethal to 10% mortality (TL10) and 20% (TL20) population was obtained when using higher value of 35 ° C, indicating that for short-term experiments the temperature 35 ° C would be most suitable.

Key words: Lethal Time, Weibull Distribution, Censure.

## **1. Introdução**

As abelhas têm a capacidade de controlar a temperatura no interior da colmeia por sua atividade social, sendo a temperatura um fator que afeta a sobrevivência de abelhas, pois, em algumas situações, como no verão, as atividades dentro e fora da colmeia aumentam e consequentemente a taxa metabólica das abelhas também. Com isso, o tempo de vida das abelhas diminui no verão e aumenta no inverno.

Para avaliar a sobrevivência destes indivíduos pode-se conduzir experimentos laboratoriais, mantendo as abelhas confinadas em gaiolas. No entanto, há dificuldade em se obter a hora exata da morte, mesmo quando em confinamento, pois o acompanhamento da mortalidade ocorre periodicamente e não de forma contínua, originando dados censurados, ou seja, em que é observado apenas o intervalo de ocorrência do evento e não o tempo exato.

A técnica usual utilizada para avaliação de dados com censura é a chamada análise de sobrevivência, por exemplo, para verificar o tempo de recorrência de doenças em cada intervalo de tempo a partir de exames periódicos, não sendo, neste caso, possível determinar o momento exato do seu aparecimento.

Os testes em laboratório com abelhas são vantajosos em relação aos realizados em campo pois são menos dispendiosos e podem ser repetidos várias vezes com rapidez de resultados, ao contrário das condições adversas encontradas no meio ambiente. No entanto, é necessário estabelecer condições adequadas de temperatura, umidade e fotoperíodo para que, o ambiente de confinamento, reproduza de maneira mais próxima o ambiente ideal, permitindo conclusões mais coerentes.

Considerando que diversos fatores podem influenciar no tempo de vida de insetos mantidos em condições de laboratório, pode-se destacar a temperatura. Em relação a temperatura, há necessidade de se conhecer os diferentes parâmetros, os quais sejam capazes de melhorar a sobrevivência dos insetos.

Assim, este trabalho foi realizado com o objetivo de analisar o tempo de vida de operárias de abelhas africanizadas, sob confinamento, em diferentes condições de temperaturas utilizando a análise de sobrevivência.

## **2. Revisão de Literatura**

### **2.1. Análise de Sobrevivência**

Na análise de sobrevivência, a variável resposta é, na maioria das vezes, o tempo até ocorrência de um determinado evento. Assim, compara-se o tempo com que os participantes desenvolvem determinado evento, ao fim de determinado período de tempo (Botelho *et. al.*, 2009). Este tempo é denominado tempo de falha e pode ser o tempo até a morte do indivíduo em análise ou qualquer outro evento de interesse (Colosimo & Giolo, 2006).

Modelos de análise de sobrevivência têm por objetivo estudar geralmente, o tempo até a ocorrência de um evento de interesse, em que a principal característica dos dados é a presença de censura, ou seja, a observação parcial da resposta (Gouvêa, 2006).

A censura ocorre quando não se sabe o tempo exato de ocorrência de um evento. Existem diversos tipos de censura, sendo as principais a censura pela direita, censura pela esquerda e censura intervalar (Aguilar, 2009).

É muito frequente a ocorrência de dados envolvendo censura intervalar, principalmente em estudos clínicos e longitudinais, onde os indivíduos são acompanhados por um período de tempo pré-estabelecido ou observados periodicamente no mesmo horário (Gouvêa, 2006).

A censura intervalar é caracterizada pelo fato de não ser conhecido o tempo exato  $T$  de ocorrência do evento de interesse, sabendo-se apenas que ele ocorreu dentro de um determinado intervalo de tempo (Gouvêa, 2006; Strapasson, 2007).

Sabe-se que o evento ocorreu entre um ponto de observação U e um outro ponto V, ou seja, num intervalo (U,V], sendo que  $U < T \leq V$ . Censura à direita e censura à esquerda são casos particulares de censura intervalar, nos quais são assumidos os intervalos  $(V, \infty)$  e  $(0, U)$ , respectivamente (Gouvêa, 2006).

A função de sobrevivência pode ser obtida através de estimadores não paramétricos, sendo em grande parte mediante o estimador Kaplan-Meier, inclusive quando o evento de interesse é a sobrevivência de abelhas operárias (Williams *et al.*, 2013). No caso de modelos paramétricos, como, em geral, os dados de sobrevivência tendem a ser assimétricos, as distribuições mais utilizadas para descrever a variável tempo até a ocorrência de um evento são: exponencial, Weibull e Log-Normal (Strapasson, 2007; Tomaz, 2009). Trabalhos com abelhas já foram desenvolvidos por vários autores, utilizando estas distribuições (Sgrillo, 1982, Brighenti, 2004; Morcharmont, 2003).

Tabela 1 – Funções de Distribuições de Sobrevivência.

Modelos de Sobrevivência	Exponencial	Weibull	Log-Normal
Expressão	$S(t) = \exp\left\{-\left(\frac{t}{\beta}\right)\right\}$	$S(t) = \exp\left\{-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right\}$	$S(t) = \Phi\left(\frac{-\log(t) + \alpha}{\beta}\right)$

Em que t é o tempo avaliado,  $\beta$  refere-se ao parâmetro de escala e  $\alpha$  ao parâmetro de forma.  $\Phi$  é a função de distribuição acumulada de uma normal padrão

### 2.1.1. Distribuição de Weibull

Uma das mais importantes distribuições em dados de análise de sobrevivência é a distribuição de Weibull, sendo tão importante para análise paramétrica de dados de sobrevivência quanto a distribuição Normal é para modelos lineares (Collet, 2003).

Segundo Sgrillo (1982) a distribuição de Weibull é largamente utilizada em confiabilidade e análise de dados de vida devido à sua versatilidade e apropriada para

ser utilizada como modelo de sobrevivência de insetos. Dependendo dos valores dos parâmetros, a distribuição de Weibull pode ser usada para modelar uma variedade de comportamentos de vida.

As principais vantagens da utilização da distribuição de Weibull para análise de sobrevivência são a obtenção de informações de longevidade média e curva de sobrevivência, através da estimativa de apenas dois parâmetros (Reis *et. al.*, 1997).

A distribuição de Weibull pode ser definida a três parâmetros, utilizando os parâmetros de escala, forma e locação ou localização. Neste estudo o parâmetro de localização foi considerado nulo, considerando apenas os parâmetros de forma e escala, cuja função densidade de probabilidade é dada por:

$$f(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left( \frac{t}{\beta} \right)^{\alpha-1} e^{-\left( \frac{t}{\beta} \right)^{\alpha}}, \quad (1)$$

em que  $\beta$  é o parâmetro de escala e  $\alpha$  é o parâmetro de forma.

**Parâmetro de forma:** é também conhecido como a inclinação. Isso ocorre porque o valor de  $\alpha$  é igual ao declive da linha de regressão em um gráfico de probabilidade. Diferentes valores de parâmetros de forma podem ter efeitos marcantes sobre o comportamento da distribuição. O parâmetro  $\alpha$  é um número puro, ou seja, é adimensional. A Figura 1 mostra o efeito de diferentes valores de  $\alpha$  na forma da função densidade de probabilidade.



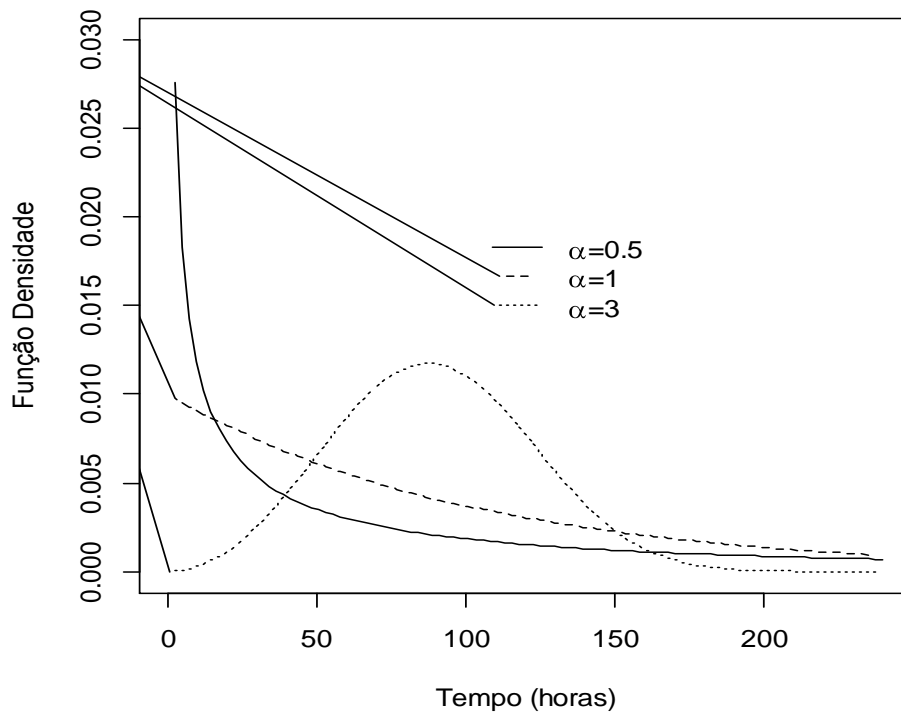


Figura 1 - Modelos de curvas de densidade de probabilidade da distribuição Weibull com diferentes valores do parâmetro de forma  $\alpha$ , matendo  $\beta$  constante.

**Parâmetro de escala:** Uma mudança no parâmetro de escala  $\beta$  tem o mesmo efeito sobre a distribuição como uma mudança da escala da abscissa. Aumentar o valor de  $\beta$ , mantendo constante  $\alpha$  tem o efeito de alongar a função densidade de probabilidade. Como a área sob uma curva de função densidade de probabilidade é o valor constante 1 (um), o “pico” da curva da função também irá diminuir com o aumento de  $\beta$  (Figura 2).

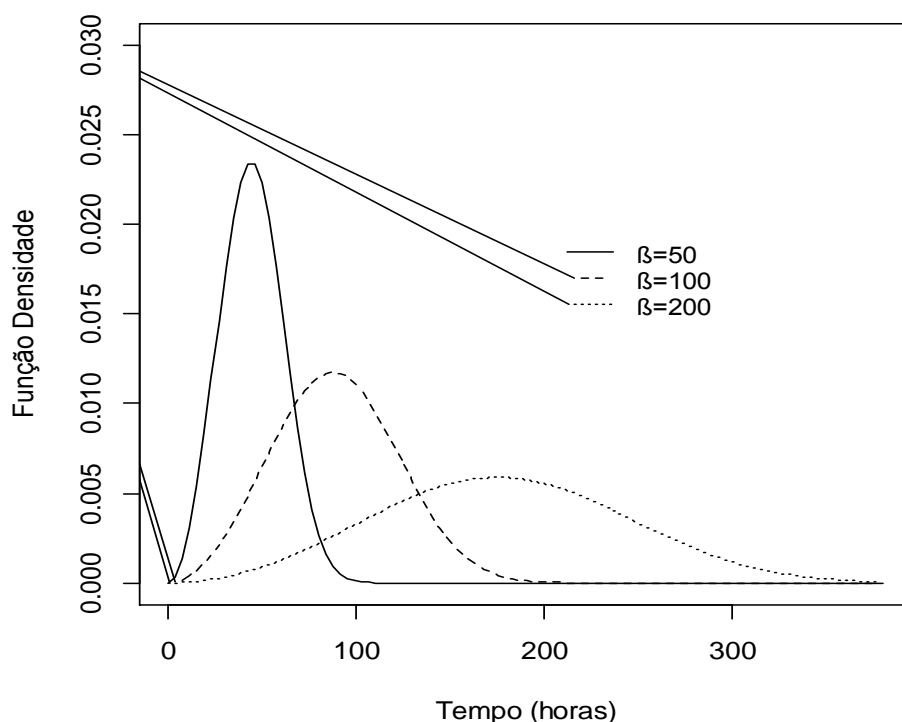


Figura 2 - Modelos de curvas de densidade de probabilidade da distribuição Weibull com diferentes valores do parâmetro de escala  $\beta$ , sendo  $\alpha$  constante.

Se  $\beta$  aumenta enquanto  $\alpha$  é mantido constante, a distribuição se estende para a direita e sua altura diminui, mantendo sua forma.

Se  $\beta$  diminui, enquanto  $\alpha$  é mantida constante, a distribuição é empurrada em direção à esquerda, isto é, em direção a  $y$ , e aumenta sua altura. O parâmetro de escala tem as mesmas unidades que  $t$ , tais como horas, metros, ciclos, etc.

## 2.2. Longevidade de Operárias de *Apis mellifera*

As abelhas *A. m. scutellata* (Lepeletier, 1836), conhecidas também como abelhas africanas, foram introduzidas no Brasil em 1956, onde sofreram um processo de hibridização, principalmente com *A. m. mellifera* (Linnaeus, 1758), *A. m. ligustica* (Spinola, 1808), *A. m. caucasica* (Gorbachev, 1916) e *A. m. carnica* (Pollmann, 1879), sendo essas abelhas europeias trazidas anteriormente para o Brasil. Desse processo de

africanização das abelhas europeias surgiu a abelha poli-híbrida africanizada, ou simplesmente abelha africanizada (Brighenti, 2009).

Winston (1983) relata que operárias de abelhas africanizadas, possuem uma longevidade de 12 a 18 dias menor do que quando comparadas com abelhas operárias europeias em períodos de forrageamento intenso. Essa diminuição de longevidade ocorre devido a essas abelhas iniciarem as atividades externas da colmeia mais cedo e terminarem mais tarde em relação às europeias, pela ocorrência de dias de comprimento longo, provocando um maior desgaste físico e energético.

De acordo com Winston (1983), após uma recente nidificação, a longevidade das primeiras operárias africanizadas emergentes é afetada e seu curto tempo de vida não passa de doze dias devido a esforços de nutrir as larvas, termorregulação, defesa e forrageamento, intensificando suas atividades até implantar e regularizar a nova população da colônia. Situação semelhante ocorre em época de intenso forrageamento de néctar, pólen, água e resinas, em que o período médio de tempo de vida de abelhas africanizadas adultas (*A. mellifera scutellata*, Lepetiler) não passa de 15 dias.

Em países de clima temperado, operárias de *A. mellifera* possuem longevidade média de 28,5 dias no verão. No outono e primavera a longevidade aumenta para 45 dias e no inverno, pelo fato das operárias ficarem quase inativas e consequentemente, suas taxas metabólicas serem mais lentas, o tempo médio de vida eleva-se para 140 dias (Winston, 1983).

Mardan & Kevan (2002) relataram que operárias de *A. dorsata* sobrevivem bem em uma temperatura variando de 26 a 36 ° C e que a 38° C morrem em cinco dias e a 45 °C em 48 horas. Os resultados de tolerância de temperatura são semelhantes com *A. mellifera*.

A maioria dos estudos de abelhas confinadas utilizam a temperatura entre 25-34°C, sendo que  $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$  é recomendando para testes toxicológicos. Recomenda-se

manter abelhas adultas à 30°C, devido à sua preferência térmica de 28°C e respiração ótima a 32°C. Essas recomendações são apropriadas para experimentos, entretanto, futuros ajustes na temperatura podem ser necessários (Williams *et. al.*, 2013).

As abelhas são famosas por manter cooperativamente a homeostase dentro da colmeia, regulando propriedades biofísicas tais como: temperatura, umidade e gases respiratórios. Ao fazerem isso, elas criam um ambiente adequado, regulando condições adversas (Williams *et. al.*, 2013).

Elas conseguem controlar a temperatura no interior da colmeia, aquecendo no inverno e esfriando no verão, tornando-se homotérmicos facultativos por sua atividade social. A temperatura ótima está em torno de 25°C, sendo que a 38°C tem-se a temperatura limiar máxima e a 15°C a temperatura limiar mínima (Gallo *et. al.*, 2002).

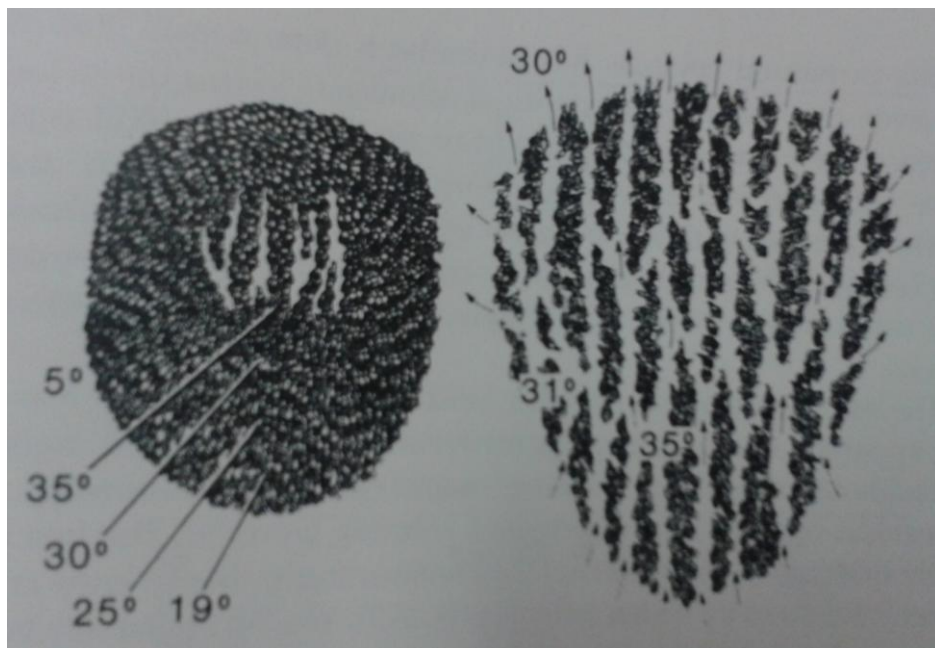


Figura 3 - Sistema de controle de temperatura de enxames de *A. mellifera*. Fonte: Heinrich, 1981.

### 3. Material e Métodos

Os adultos de abelhas africanizadas foram obtidos de uma colônia em produção, mantida em colméia modelo Langstroth, no Apiário Central da Universidade Federal de Lavras - UFLA e as pesquisas foram realizadas no laboratório de Biologia de Insetos do Departamento de Entomologia da Universidade Federal de Lavras – UFLA. A análise do tempo de vida das abelhas foi realizada em função de cinco temperaturas: 15C°, 20C°, 25C°, 30C° e 35C°, sendo avaliada a taxa de mortalidade a cada 24 horas durante 10 dias.

Essas temperaturas foram utilizadas porque os insetos apresentam metabolismo acelerado em altas temperaturas (> 38°C), e desacelerado em baixas temperaturas (< 15°C). O estudo em questão analisa o intervalo de 15° C a 35° C, período de melhor rendimento metabólico dos insetos. Os entomólogos usam um valor mediano desse intervalo, e a temperatura mais comum é a de 25 °C, assim estabeleceu-se esta temperatura como o tratamento testemunha.

As abelhas foram alimentados com mel cristalizado em uma tampa plástica de 25 mm de diâmetro por 5 mm de altura e água *ad libitum*, mantidas em gaiolas cilíndricas, com 10 cm de altura e 15 cm de diâmetro, em câmaras climatizadas com fotoperíodo de 12 horas (Figura 4). Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado com 5 tratamentos e 10 repetições.



Figura 4 - Gaiolas em câmaras climáticas.

Em muitos experimentos, os resultados são traduzidos por frequências e expressos em porcentagens para fins de comparação. Na área de Entomologia, isso é usual quando, por exemplo, se avalia a variável sobrevivência ou mortalidade. É comum, nesses casos, que, antes da análise de variância, os dados expressos em porcentagem (P%) sejam transformados para  $\arcsen(x)$ . Essa transformação homogeneizará a variância experimental, que é uma das exigências estatísticas para a validade dos testes de significância e dos intervalos de confiança para as médias dos tratamentos. Assim, realizou-se a transformação dos dados de sobrevivência e prosseguiu-se com a análise de variância.

O cálculo das estimativas de sobrevivência foi feito utilizando o software R 3.1.1 (R Development Core Team; Vienna, Austria), com adaptação do pacote "*survival*", comparando três diferentes modelos paramétricos, o Exponencial, Weibull e Log-Normal e também o não paramétrico de Kaplan-Meier. Após a obtenção do ajuste, o efeito de cada tratamento foi analisado pela estimação do logaritmo da função verossimilhança ( $\log[L(\theta)]$ ).

Posteriormente a obtenção do  $\log[L(\theta)]$  foram obtidos através do software R os parâmetros de forma  $\alpha$  e escala  $\beta$  para e as curvas de sobrevivência pelos modelos de Weibull e Log-Normal.

Após comparação dos modelos paramétricos, obteve-se novas curvas com o modelo não paramétrico Kaplan-Meier versus as sobrevivências estimadas pelos modelos Exponencial, Weibull e Log-normal, em função do tempo. Foi calculado também o logaritmo neperiano da função  $L(\theta)$  para os três modelos.

Em seguida ao ajuste das curvas de sobrevivência, realizaram-se comparações por meio da identidade de modelos (Drapper & Smith, 1988). Esse procedimento, aplicado a um determinado conjunto de curvas, permite que os parâmetros ajustados a cada uma das curvas obtidas para as diferentes dietas fossem comparados

simultaneamente. A vantagem desse método é que, caso os resultados não sejam significativos, isto é, os coeficientes sejam estatisticamente iguais, pode-se reduzir o número de curvas a serem avaliadas (Lawless, 1982).

As hipóteses para o teste de identidade de modelos são descritas na Tabela 2. A estatística do teste de comparação das curvas foi obtida por meio da razão de verossimilhanças entre o modelo completo  $H_1$ , isto é, aquele com todos os parâmetros e o modelo de pesquisa, em que se emprega um número reduzido de parâmetros  $H_0$  (Tabela 2) (Nelson, 1982).

Tabela 2 - Hipóteses testadas na comparação de parâmetros de forma e escala no modelo ajustado dado por  $S(t) = \exp\left[-(t / \alpha_i)^{\beta_i}\right]$ .

Teste	Parâmetros	Hipóteses $H_0$	Razão de verossimilhanças
(a)	Escala e Forma iguais	$\alpha_1 = \dots = \alpha_8 = \alpha$	$L(\alpha, \beta; S(t))$
		$\beta_1 = \dots = \beta_8 = \beta$	$L(\alpha_1 = \dots = \alpha_8, \beta_1 = \dots = \beta_8 = \beta; S(t))$
(b)	Escala iguais	$\alpha_1 = \dots = \alpha_8 = \alpha$	$L(\alpha, \beta_1 = \dots = \beta_8; S(t))$
			$L(\alpha_1 = \dots = \alpha_8, \beta_1 = \dots = \beta_8 = \beta; S(t))$
(c)	Forma iguais	$\alpha_1 = \dots = \alpha_8 = \alpha$	$L(\alpha_1 = \dots = \alpha_8, \beta; S(t))$
		$\beta_1 = \dots = \beta_8 = \beta$	$L(\alpha_1 = \dots = \alpha_8, \beta_1 = \dots = \beta_8 = \beta; S(t))$

Avaliou-se também o tempo letal (TL) para adultos *A. mellifera* até a mortalidade de 10% (TL<sub>10</sub>), 20% (TL<sub>20</sub>), 50% (TL<sub>50</sub>) e para o tempo de extinção da população (TL<sub>99</sub>) com os insetos mantidos em cada temperatura.

Os resultados da mortalidade final foram submetidos à transformação de dados  $x' = \arcsen(\sqrt{x})$  e posteriormente à análise de variância.

#### 4. Resultados e Discussão

Em situações em que o tempo de vida exato não é facilmente detectado, uma das possíveis soluções é considerar o registro das mortes por meio do limite superior de cada intervalo observado (Colosimo, 2001). A análise estatística inicialmente procedeu-se com a contagem do número de abelhas mortas, obtendo-se desta forma dados censurados.

Observou-se que em função da temperatura utilizada, há uma variação considerável no tempo médio de vida de operárias de abelhas africanizadas. O maior tempo de vida foi observado quando as abelhas foram mantidas sob a temperatura de 20° C.

Tabela 3 - Média do tempo de vida e taxa de mortalidade de operárias de abelhas africanizadas sob diferentes temperaturas após 10 dias de confinamento em câmaras climáticas.

Temperatura	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C
Taxa de Mortalidade	93	74	95	94	95
Média de tempo de vida (horas)	129,96	150,24	123,72	121,92	126,12

Segundo Gallo e colaboradores (2002), os insetos morrem mais rápido quando expostos à temperaturas fora da faixa favorável, considerando a intensidade da variação da temperatura e a quantidade de tempo. Apesar disto, utilizando a temperatura de 20°C obteve-se uma taxa de mortalidade de operárias de abelhas africanizadas, após 10 dias, de apenas 74% e média de tempo de vida igual a 150,24 horas, superior à média das demais temperaturas testadas.

Entretanto, a média do tempo de vida geral das temperaturas testadas, com exceção da média de 20°C, foi em torno de 5 dias, ou seja, as abelhas operárias viveram em média 5 dias após início do confinamento.



No geral, a mortalidade das abelhas ocorreu entre 60 e 150 horas (Figura 4), concentrando 63,2% das mortes entre este horário, o que representa em dias, a partir da metade do segundo dia até a metade do sexto dia aproximadamente.

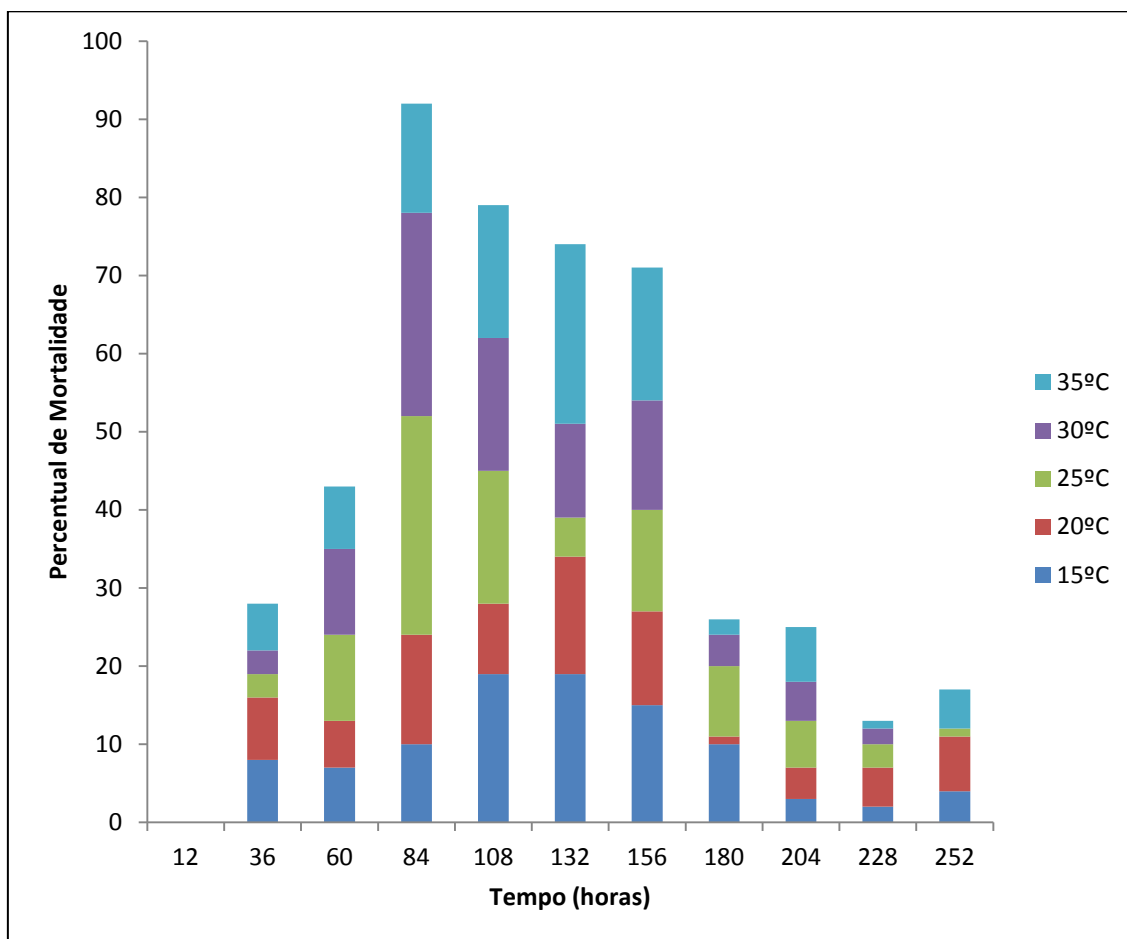


Figura 5 - Percentual acumulado de mortalidade de operárias de abelhas africanizadas em relação ao tempo, considerando-se os diferentes tratamentos utilizados.

As temperaturas de 25°C e 30°C tiveram uma alta taxa de mortalidade nos primeiros seis dias de experimento, com máxima no terceiro dia, 28% e 26% respectivamente. As temperaturas de 15°C e 35°C também mostraram alta taxa de mortalidade nos primeiros seis dias (Figura 6).

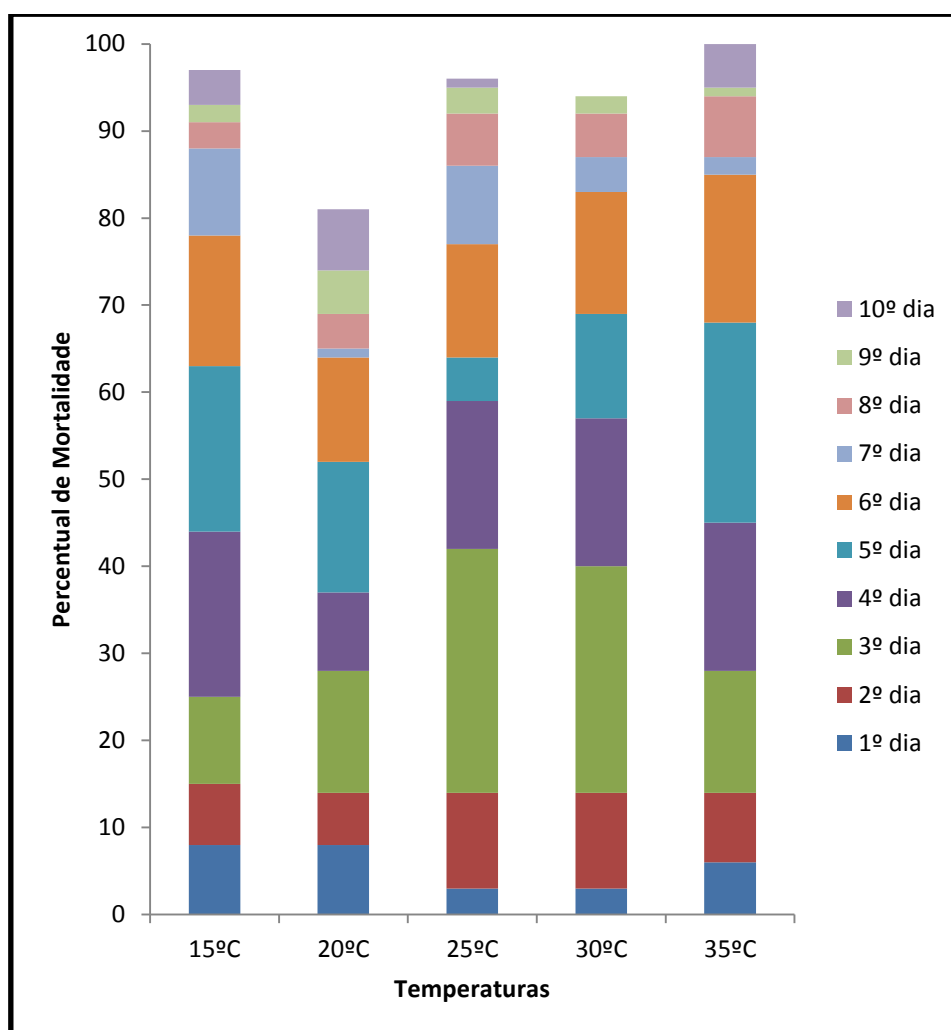


Figura 6 - Percentual acumulado de mortalidade de operárias de abelhas africanizadas em relação a temperatura, durante os dez dias de acompanhamento do experimento.

A ocorrência de mortes das abelhas foi mais homogênea ao longo do experimento para a temperatura de 20°C, com taxa de mortalidade pequena no início e no final do experimento, aumentando apenas entre 84 e 156 horas (terceiro e quinto dia) como as demais temperaturas (Figura 7).

Em muitos experimentos, os resultados são traduzidos por frequências e expressos em porcentagens para fins de comparação. Na área de Entomologia, isso é usual quando, por exemplo, se avalia a variável sobrevivência ou mortalidade. É comum, nesses casos, que, antes da análise de variância, os dados expressos em porcentagem (P%) sejam transformados para  $\arcsin \sqrt{P\%/100}$ . Nesse caso, essa

transformação homogeneizará a variância experimental, que é uma das exigências estatísticas para a validade dos testes de significância e dos intervalos de confiança para as médias dos tratamentos.

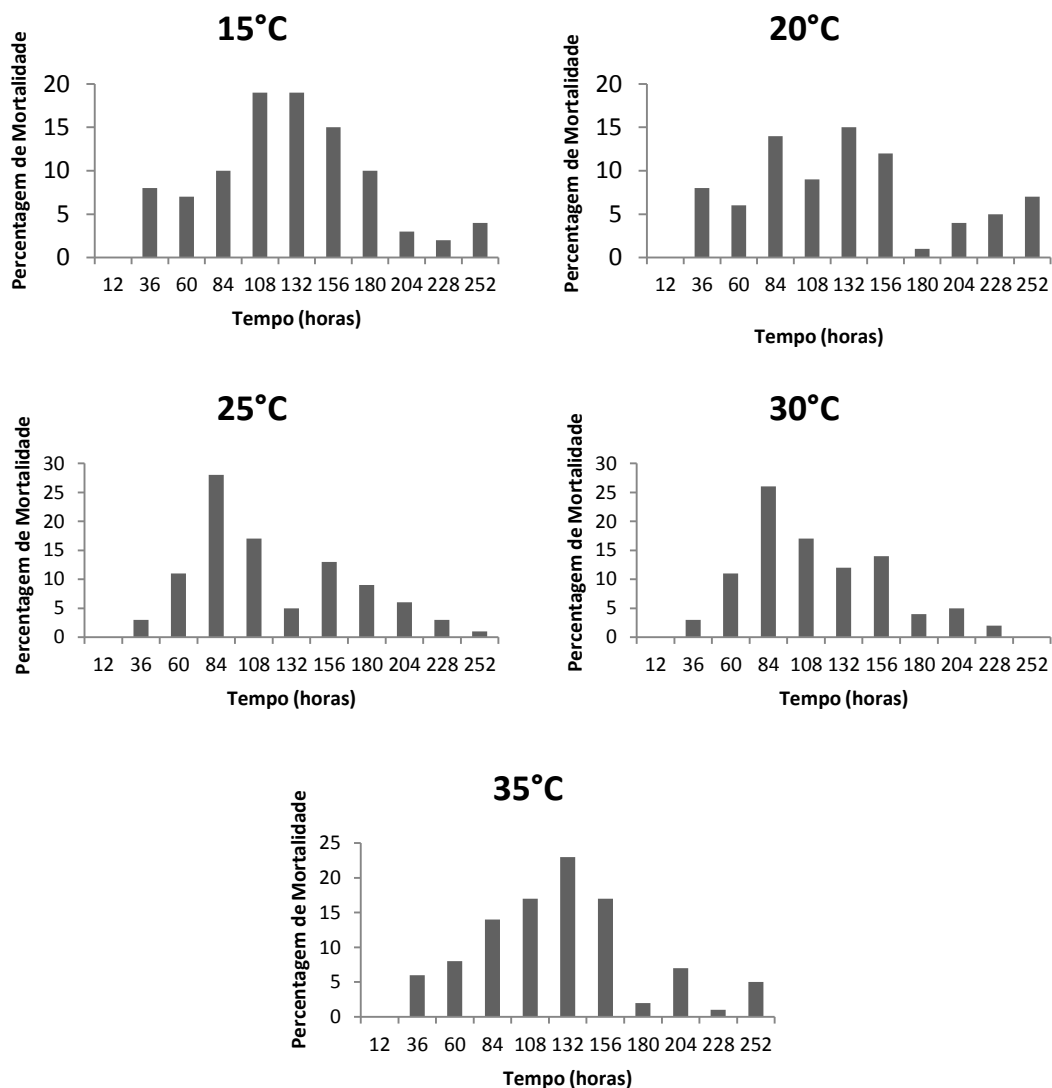


Figura 7 - Percentual de mortalidade de operárias de abelhas africanizadas nos diferentes tratamentos.

Iniciou-se a análise de sobrevivência pela seleção do melhor modelo entre os três estudados, Exponencial, Weibull e Log-Normal. Para a seleção utilizou-se o teste da razão de verossimilhanças em que o menor valor indica o melhor modelo.

Tabela 6 - Logaritmo da função  $L(\theta)$  para diferentes temperaturas.

Modelo	$\log(L(\theta))$				
	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C
Exponencial	-562,97	-488,51	-552,96	-542,21	-574,25
Weibull	<b>-530,12</b>	-479,11	-523,17	-514,17	<b>-533,78</b>
Log-normal	-538,26	<b>-477,80</b>	<b>-519,73</b>	<b>-508,50</b>	-541,96

Diante da análise dos resultados do teste da razão de verossimilhanças o modelo exponencial foi inferior em todas as temperaturas avaliadas, podendo ser excluído da análise. De acordo com resultados apresentados na Tabela 6, três temperaturas são melhor ajustadas com a distribuição Log-Normal e duas com a Weibull.

Inicialmente, os modelos ajustados pela distribuição de Weibull, foram comparados com o modelo não-paramétrico de Kaplan-Meier (Figura 8).

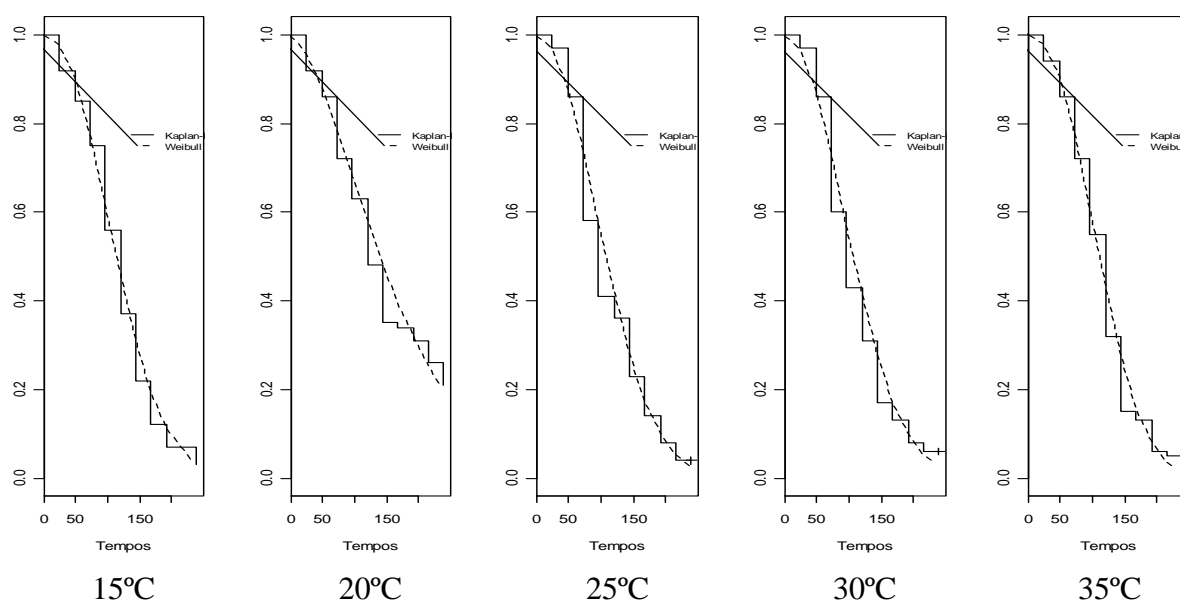


Figura 8 - Curvas de sobrevivência para modelo Weibull versus a curva de sobrevivência estimada por Kaplan-Meier.

Os parâmetros para a distribuição de Weibull foram obtidos através de rotina desenvolvida no software R 3.1.1 (R, 2014), com os dados do tempo de vida de operárias de abelhas (Tabela 4).

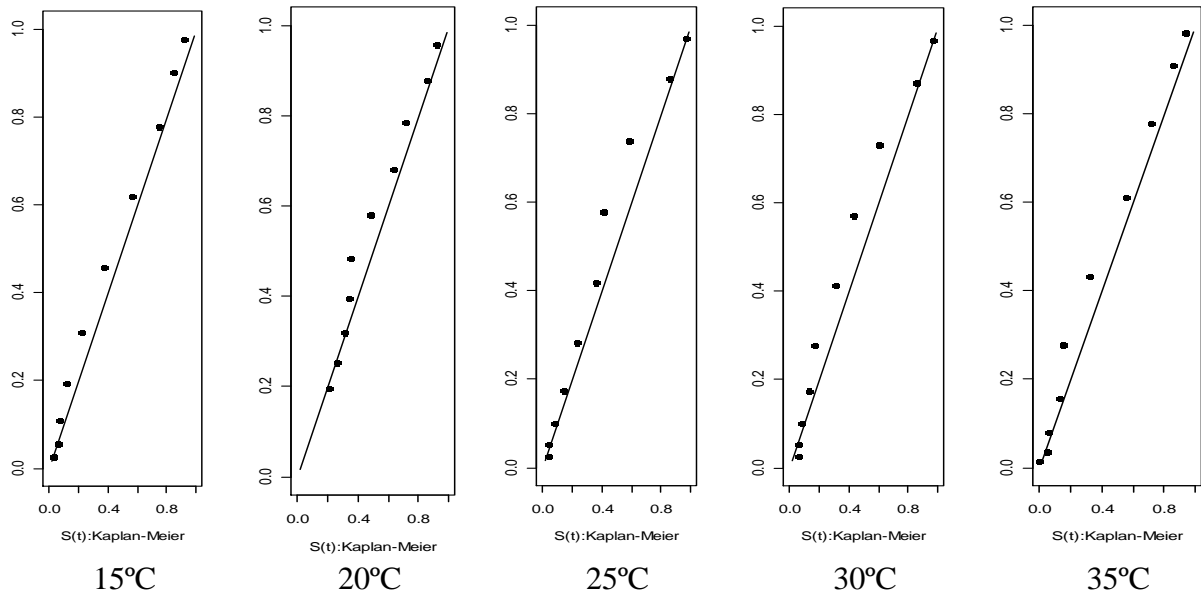


Figura 9 - Sobrevivências estimadas por Kaplan-Meier versus as sobrevivências estimadas pelo modelo Weibull sob diferentes temperaturas.

A função de sobrevivência para o modelo de Weibull de parâmetros ( $\alpha$  e  $\beta$ ) é dada, como visto na tabela 3. Desse modo,

$$-\log[S(t)] = (t / \beta)^\alpha$$

$$\log[-\log[S(t)]] = -\alpha \log(\beta) + \alpha \log(t)$$

o que mostra que  $\log[-\log[S(t)]]$  é uma função linear de  $\log(t)$ . Portanto, o gráfico de  $\log[-\log[S(t)]]$  versus  $\log(t)$ , sendo  $S(t)$  o estimador de Kaplan Meier, deve ser aproximadamente linear se o ajuste for apropriado.

A partir da observação dos gráficos da Figura 9 e da análise de resíduos, percebe-se que as estimativas por Kaplan-Meier das temperaturas de 25°C e de 35°C são as que mais se aproximam de uma reta, tendo os dois menores valores de resíduo, respectivamente, -0,005 e 0,004.

Tabela 7: Parâmetros de forma  $\alpha$  e escala  $\beta$  estimados para as curvas de sobrevivência do modelo de Weibull  $S(t) = \exp[-(t/\beta)^\alpha]$  para diferentes temperaturas.

<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Parâmetros</i>	
	$\alpha$	$\beta$
15	2,209	134,105
20	1,574	176,487
25	2,070	128,376
30	2,032	127,414
35	2,350	129,432

Tabela 8: Parâmetros de forma  $\alpha$  e escala  $\beta$  estimados para as curvas de sobrevivência do modelo de Log-Normal  $S(t) = \Phi\{[(-\log(t) + \alpha)] / \beta\}$  para diferentes temperaturas.

<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Parâmetros</i>	
	$\alpha$	$\beta$
15	4,641	0,595
20	4,861	0,813
25	4,599	0,541
30	4,597	0,538
35	4,619	0,538

A partir dos parâmetros estimados construiu-se as curvas de sobrevivência para as cinco temperaturas do modelo de Weibull (Figura 10) e modelo Log-Normal (Figura 11).

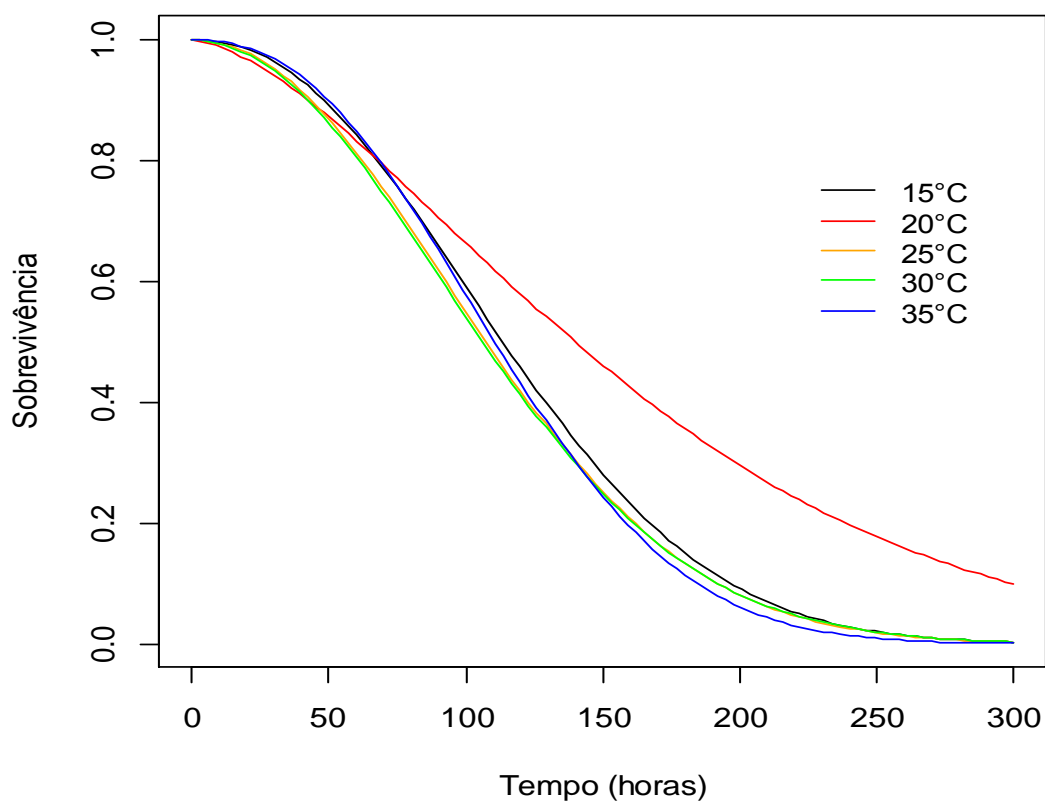


Figura 10 - Curvas de sobrevivência de operárias de abelhas africanizadas confinadas em câmaras climáticas sob diferentes temperaturas utilizando a distribuição de Weibull.

As curvas de sobrevivência das temperaturas de 25°C e 35°C ficaram muito próximas, indicando alta semelhança de sobrevivência das abelhas nestas duas temperaturas. Nota-se um afastamento da curva de sobrevivência da temperatura de 20°C aproximadamente a partir de 84 horas.

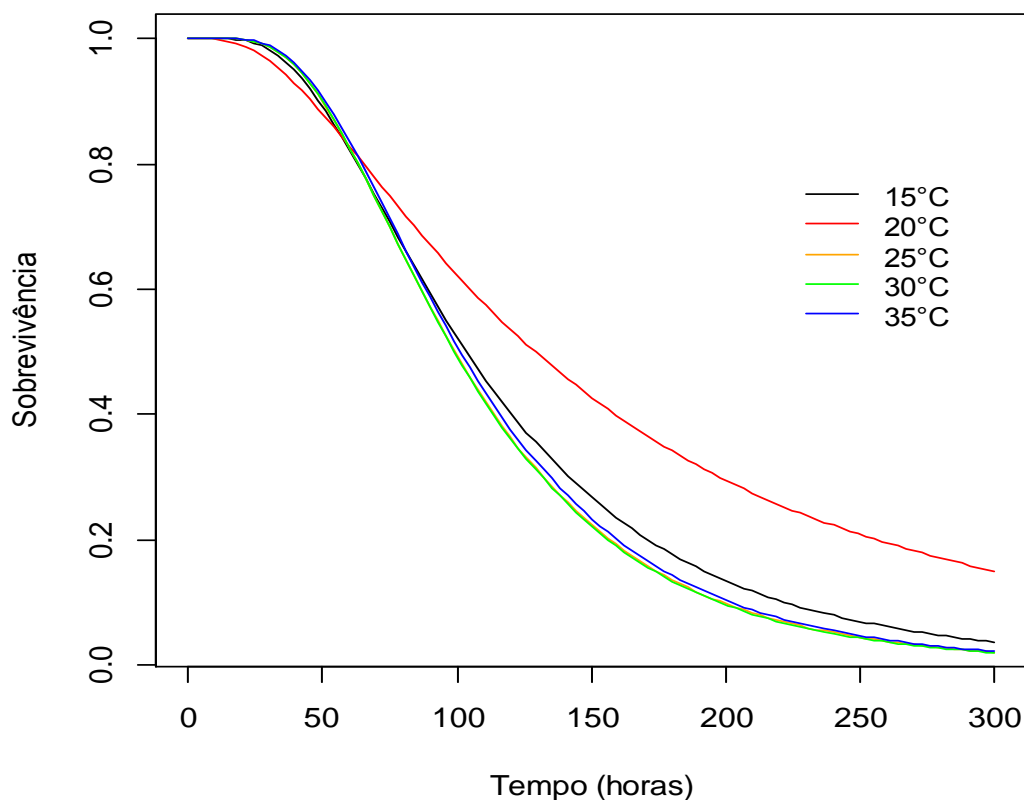


Figura 11 - Curvas de sobrevivência de operárias de abelhas africanizadas confinadas em câmaras climáticas sob diferentes temperaturas utilizando a distribuição de Log-Normal.

As curvas de sobrevivência utilizando-se a distribuição Log-Normal ficaram bem ajustadas, mostrando semelhança ao resultado com a distribuição de Weibull, tendo a temperatura de 20° C superior às demais testadas. Entretanto, o modelo de Weibull foi escolhido medir o tempo de vida de insetos devido a sua indicação de utilização feita por Sgrillo (1982), Morcharmont (2003) e Brighenti (2004). Diante do exposto, obteve-se os ajustes considerando apenas a distribuição de Weibull.



Tabela 9 - Teste de  $\chi^2$  para comparação das curvas quanto aos parâmetros de forma e escala da distribuição de Weibull para a sobrevivência de *A. mellifera* mantidas sob diferentes temperaturas.

Parâmetros	$\chi^2$	Graus de Liberdade	Valor-p
Escala e Formas iguais	54,499	8	> 0,001
Escala igual	14,676	4	0,005
Forma igual	19,509	4	0,001

A igualdade entre os modelos apresentados foi realizada pelo teste  $\chi^2$  para verificar se os parâmetros de escala ( $\alpha$ ) e/ou forma ( $\beta$ ) são iguais. Através do teste da razão de verossimilhança (TRV) foi constatada diferença significativa nos parâmetros de forma e escala da temperatura de 20° C em relação à de 25° C e da temperatura de 20° C em relação à de 30° C, ou seja, o tempo de vida das abelhas *A. mellifera* foi influenciado pela temperatura.

A partir dos modelos ajustados para cada temperatura é possível estimar a sobrevivência nos diferentes tempos (Tabela 10).

Tabela 10 – Estimativas da sobrevivência para os respectivos tempos usando-se o modelo de Weibull.

<b>Tempo (horas)</b>	<b>Temperatura</b>				
	<b>15°C</b>	<b>20°C</b>	<b>25°C</b>	<b>30°C</b>	<b>35°C</b>
24	0,977	0,957	0,969	0,966	0,981
48	0,901	0,879	0,877	0,871	0,907
72	0,776	0,783	0,739	0,730	0,777
96	0,620	0,681	0,578	0,569	0,609
120	0,457	0,580	0,419	0,412	0,432
144	0,310	0,483	0,281	0,277	0,276
168	0,192	0,396	0,174	0,173	0,157
192	0,109	0,319	0,100	0,100	0,079
216	0,056	0,252	0,053	0,054	0,035
240	0,026	0,197	0,026	0,027	0,013

Em alguns casos é útil também definir quais os tempos letais até que ocorra a mortalidade de 10%, 20%, 50% da população e o tempo para extinção da população nas diferentes temperaturas (Tabela 11).

Tabela 11 - Tempo letal de vida até a mortalidade de 10%(TL<sub>10</sub>), 20%(TL<sub>20</sub>), 50% (TL<sub>50</sub>) e para o tempo de extinção da população (TL<sub>99</sub>) de diferentes temperaturas da *Apis mellifera*. UR 70 ± 10% e fotoperíodo de 12 horas.

	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C
<b>TL<sub>10</sub></b>	48,0	42,3	43,3	42,1	<b>49,7</b>
<b>TL<sub>20</sub></b>	67,8	68,1	62,2	60,9	<b>68,4</b>
<b>TL<sub>50</sub></b>	113,7	<b>139,8</b>	107,5	106,4	110,7
<b>TL<sub>99</sub></b>	269,6	<b>465,5</b>	268,5	270,0	247,8

Nota-se que na temperatura de 35°C a população de operárias de abelhas africanizadas demorou mais para extinguir 10% e 20%, sendo útil para experimentos de curta duração, enquanto que a temperatura de 20°C foi a que tardou mais para se extinguir 50% e 99% da população.

Não foram encontradas diferenças significativas ( $F < F_{\text{crítico}}$  ou valor-P  $\geq 0,05$ ) para a taxa de sobrevivência de operárias de abelhas africanizadas entre as temperaturas testadas durante os 10 dias de experimento.

Tabela 12 - Análise de Variância para comparação dos dados de sobrevivência de operárias de abelhas africanizadas, usando transformação arcseno (p) sob diferentes temperaturas durante 10 dias de experimento.

Fonte da variação	gl	SQ*	QM**	F	valor-P	F <sub>crítico</sub>
Entre grupos	4	0,1297	0,0324	0,1740	0,9507	2,557
Dentro dos grupos	50	9,3195	0,1864			
Total	54	9,4492				

\*SQ é a soma dos quadrados de todos os desvios em relação a média de todas as observações

\*\*QM é o quadrado médio dos desvios

Porém, é possível verificar uma diferença significativa na sobrevivência de operárias de abelhas africanizadas entre as temperaturas testadas a partir do sexto dia de experimento ( $F > F_{\text{crítico}}$  ou valor-P  $< 0,05$ ).

Tabela 13 - Valores de F (ANOVA) para comparações dos dados de sobrevivência de operárias de abelhas africanizadas transformados (arcsen) sob diferentes temperaturas nos 6 últimos dias de experimento.

Fonte da variação	gl	SQ	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	4	0,1828	0,045699	3,422246	0,023101	2,7587
Dentro dos grupos	25	0,3338	0,013353			
Total	29	0,5166				

\*SQ é a soma dos quadrados de todos os desvios em relação a média de todas as observações

\*\*MQ é a média quadrática

## **5. Considerações Finais**

A criação e manutenção de operárias de abelhas africanizadas em laboratório é uma necessidade atual, principalmente devido à importância econômica e ambiental deste inseto e principalmente ao aumento anual do número de pesquisas relacionadas a diversas áreas.

Os modelos de Weibull e Log-normal se ajustaram adequadamente a sobrevivência de operárias de abelhas africanizadas submetidas a diferentes temperaturas.

A temperatura de 20°C apresentou uma maior sobrevida em operárias de abelhas africanizadas, apesar da temperatura de 35°C ter atingido um maior valor para  $TL_{10}$ . Porém, possivelmente houve influência de fatores não esperados ou não controlados, sendo assim, necessário mais pesquisas para maiores detalhamentos.

A instalação de colmeias em áreas sombreadas ou que proporcionem temperatura média de 20°C pode ser benéfica, pois favorece a sobrevida de operárias de abelhas africanizadas, contribuindo para o aumento da densidade populacional da colmeia no período de produção, quando o desgaste metabólico é maior.

## 6. Referências Bibliográficas

- AGUILAR, A. M. G. Introducción al Análisis de Supervivencia con R. **Tesis** Para Obtener el Título de: Actuario - Facultad De Ciencias - Universidad Nacional Autónoma de México. p.126, 2009.
- BOTELHO, F.; SILVA, C.; CRUZ, F. Epidemiologia explicada – Análise de Sobrevivência. Artigo de Revisão. **Acta Urológica**, v.26, n.4, p.33-38, 2009.
- BRIGHENTI, D. M. Dietas energéticas e proteicas para adultos de *Apis mellifera*, Linnaeus 1758 (Hymenoptera: Apidae). **Tese** (Doutorado em Entomologia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 106 p. 2009.
- BRIGHENTI, C. R.G.; CIRILLO, M.A; BRIGHENTI, D.M. Modelos de sobrevivência para avaliação do tempo de vida de operárias de *Apis mellifera* tratadas com diferentes dietas. In: **49ª RBRAS**- Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria, Uberlândia, Anais, 2004.
- COLLETT, A. Modelling survival data in medical research. 2.ed. London: Chapman and Hall, 391 p. 2003.
- COLOSIMO, E. A.; GIOLO, S. R. Análise de sobrevivência aplicada. Piracicaba: ESALQ/USP, 145p. 2001.
- GALLO, D. N.; NAKANO, O.; NETO, S. S.; CARVALHO, R. P. L.; BAPTISTA, G. C.; FILHO, E. B.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.; MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C. Entomologia Agrícola. Piracicaba: FEALQ, v.10, p. 920, 2002.
- GOUVÊA, G. D. R. Estimador Bootstrap não-paramétrico de curvas de sobrevivência para dados entomológicos com censura intervalar. **Dissertação** (Mestrado) – UFLA, Lavras, p. 61, 2006.
- MARDAN, M; KEVAN, P. G. Critical temperatures for survival of brood and adult worker of the giant honeybee, *Apis dorsata* (Hymenoptera: Apidae). **Apidologie**, v.33, p. 295-301, 2002.
- MONCHARMONT, F. X. D. , DECPOUTYE, A, HENNEQUET-HANTIER C, PONS O, PHAM-DELEQUE MH. Statistical analysis of honeybee survival after chronic

exposure to insecticides. **Environmental Toxicology and Chemistry**. v. 22, p. 3088-3094, 2003.

NAGELKERKE, N. J. D; HART; A. A. M. The sequential comparison of survival curves. **Biometrika**, 67, p.247-249, 1980.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R- A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2007. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.r-project.org>.

PAULO R. REIS, P. R.; MARINÉIA L. HADDAD, M. L. Distribuição de Weibull como modelo de sobrevivência de *Iphiseiodes zuluagai* Denmark & Muma (Acari: Phytoseiidae). **An. Soc. Entomol. Bras.** Londrina. vol.26, no.3, 1997.

SGRILLO, R.B.A distribuição de Weibull como modelo de sobrevivência de insetos. **Ecossistemas**, v.7, p.9-13, 1982.

STRAPASSON, E. Comparação de modelos com censura intervalar em análise de sobrevivência. **Tese** (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 135 p., 2007.

WILLIAMS, G. R.; ALAUX, C.; COSTA, C.; CSÁKI, T.; DOUBLET, V.; FRIES, D. E. I.; KUHN, R.; MCMAHON, D. P.; MEDRZYCKI, P.; MURRAY, T. E.; NATSOPOULOU, M. E.; NEUMANN, P.; OLIVER, R.; PAXTON, R. J.; PERMAL, S. F.; SHUTLER, D.; TANNER, G.; VAN DER STEEN, J. J. M.; BRODSCHNEIDER,

R.. Standard methods for maintaining adult *Apis mellifera* in cages under in vitro laboratory conditions. **Journal of Apicultural Research** 52(1): 2013. DOI 10.3896/IBRA.1.52.1.04

WINSTON, M.L.; OTIS, G.W.; TAYLOR, O.R. Capturing wild honey bee colonies. **American Bee Journal**, v. 124, p. 372-374, 1983.

## 7. ANEXOS

### A - Conjunto de resultados

#### Simplex

Tempo	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C
12	0	0	0	0	0
36	8	8	3	3	6
60	7	6	11	11	8
84	10	14	28	26	14
108	19	9	17	17	17
132	19	15	5	12	23
156	15	12	13	14	17
180	10	1	9	4	2
204	3	4	6	5	7
228	2	5	3	2	1
252	4	7	1	0	5

#### Acumulado

Tempo	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C
12	0	0	0	0	0
36	8	8	3	3	6
60	15	14	14	14	14
84	25	28	42	40	28
108	44	37	59	57	45
132	63	52	64	69	68
156	78	64	77	83	85
180	88	65	86	87	87
204	91	69	92	92	94
228	93	74	95	94	95
252	97	81	96	94	100

## B - Rotinas no software R 3.1.1

```
##### modelo #####
```

```
dados<-read.table("tempos.txt", h=T)
require(survival)
tempos<-c(dados[,1])
cens<-c(dados[,2])
ajust1<-survreg(Surv(tempos,cens)~1,dist='exponential')
ajust1
alpha<-exp(ajust1$coefficients[1])
alpha
ajust2<-survreg(Surv(tempos,cens)~1,dist='weibull')
ajust2
beta<-exp(ajust2$coefficients[1])
gama<-1/ajust2$scale
gama
cbind(gama,beta)
ajust3<-survreg(Surv(tempos,cens)~1,dist='lognorm')
ajust3
lambda<-ajust3$scale
delta<-(ajust3$coefficients[1])
ekm<-survfit(Surv(tempos,cens))
time<-ekm$time
st<-ekm$surv
ste<-exp(-time/alpha)
stw<-exp(-(time/beta)^gama)
stln<-pnorm((-log(time)+delta)/lambda)
```

```
##### estimativas de sobrevivencia #####
```

```
cbind(time,st,ste,stw,stln)
```

```
#comandos para gerar os gráficos de sobrevivencias por KM versus mod exp, weibull e lognormal
```

```
par(mfrow=c(1,3))
plot(st,ste,pch=16, ylim=range(c(0.0,1)), xlim=range(c(0,1)), xlab = "S(t):Kaplan-Meier", ylab="S(t): exponential")
lines(c(0,1), c(0,1), type="c", lty=1)
plot(st,ste,pch=16, ylim=range(c(0.0,1)), xlim=range(c(0,1)), xlab = "S(t):Kaplan-Meier", ylab="S(t): Weibull")
lines(c(0,1), c(0,1), type="c", lty=1)
plot(st,ste,pch=16, ylim=range(c(0.0,1)), xlim=range(c(0,1)), xlab = "S(t):Kaplan-Meier", ylab="S(t): log-normal")
lines(c(0,1), c(0,1), type="c", lty=1)
```



```

#### gráficos de tempo versus...#####
par(mfrow=c(1,3))
invst<-qnorm(st)
plot(time, -log(st),pch=16,xlab="tempos",ylab="-log(S(t))")
plot(log(time),log(-log(st)),pch=16,xlab="log(tempos)",ylab="log(-log(S(t)))")
plot(log(time),invst,pch=16,xlab="log(tempos)",ylab="expression(Phi^-1*(S(t)))")

##### logaritmo da função L e TRV#####
ajust1$loglik[2]
ajust2$loglik[2]
ajust3$loglik[2]

#### Curvas de Sobrevida ####
a=2.19 #parametro de forma
b=134.41 #parametro de escala

#weibull=function(t){exp(-(t/b)^a)}

weibull15=function(t){exp(-(t/134.41)^2.19)}
plot(weibull15,0,300,xlab="tempo (horas)",ylab="Sobrevivência",lty=1)
#text(100,0.8,"15°C")

weibull20=function(t){exp(-(t/176.48)^1.574)}
plot(weibull20,0,300,xlab="tempo (horas)",ylab="Sobrevivência", add=T,lty=2)
#text(100,0.7,"20°C")

weibull25=function(t){exp(-(t/128.37)^2.07)}
plot(weibull25,0,300,xlab="tempo (horas)",ylab="Sobrevivência", add=T,lty=3)
#text(100,0.6,"25°C")

weibull30=function(t){exp(-(t/127.41)^2.032)}
plot(weibull30,0,300,xlab="tempo (horas)",ylab="Sobrevivência", add=T,lty=4)
#text(100,0.5,"30°C")

weibull35=function(t){exp(-(t/129.43)^2.35)}
plot(weibull35,0,300,xlab="tempo (horas)",ylab="Sobrevivência", add=T,lty=5)
#text(100,0.4,"35°C")
legend(220,0.8,c("15°C","20°C","25°C","30°C","35°C"),lty=c(1,2,3,4,5),
bty="n",cex=.9)

lognormal15=function(t){(pnorm((-log(t)+4.641)/0.595))}
plot(lognormal15,0,300,xlab="Tempo (horas)",ylab="Sobrevivência",col =
"black",lty=1)

```

```
#text(100,0.8,"15°C")
```

```
lognormal20=function(t){(pnorm((-log(t)+4.861)/0.813))}  
plot(lognormal20,0,300,xlab="Tempo (horas)",ylab="Sobrevivência", col = "red",  
add=T,lty=1)  
#text(100,0.7,"20°C")
```

```
lognormal25=function(t){(pnorm((-log(t)+4.599)/0.541))}  
plot(lognormal25,0,300,xlab="Tempo (horas)",ylab="Sobrevivência", col = "orange",  
add=T,lty=1)  
#text(100,0.6,"25°C")
```

```
lognormal30=function(t){(pnorm((-log(t)+4.597)/0.538))}  
plot(lognormal30,0,300,xlab="Tempo (horas)",ylab="Sobrevivência", col = "green",  
add=T,lty=1)  
#text(100,0.5,"30°C")
```

```
lognormal35=function(t){(pnorm((-log(t)+4.619)/0.538))}  
plot(lognormal35,0,300,xlab="Tempo (horas)",ylab="Sobrevivência", col = "blue",  
add=T,lty=1)  
#text(100,0.4,"35°C")
```

```
legend(220,0.8,c("15°C","20°C","25°C","30°C","35°C"),col=c("black","red", "orange",  
"green", "blue"),lty=c(1,1,1,1,1),bty="n",cex=.9)
```

```
##### parâmetros de forma e escala #####
```

```
weibull1=function(t){((0.5/100)*((t/100)^(0.5-1)))*exp(-(t/100)^(0.5))}  
weibull2=function(t){((1/100)*((t/100)^(1-1)))*exp(-(t/100)^(1))}  
weibull3=function(t){((3/100)*((t/100)^(3-1)))*exp(-(t/100)^(3))}
```

```
plot(weibull1,xlim= c(0,240),ylim= c(0,0.03),xlab="Tempo (horas)",ylab="Função  
Densidade",lty=1)  
plot(weibull2,0,240,xlab="Tempo (horas)",ylab="Função Densidade", add=T,lty=2)  
plot(weibull3,0,240,xlab="Tempo (horas)",ylab="Função Densidade", add=T,lty=3)
```

```
legend(100,0.02,c((expression(paste(alpha,"=0.5"))),(expression(paste(alpha,"=1"))),(ex  
pression(paste(alpha,"=3")))),lty=c(1,2,3),bty="n",cex=1.0)
```

```
weibull1=function(t){((3/50)*((t/50)^(3-1)))*exp(-(t/50)^(3))}  
weibull2=function(t){((3/100)*((t/100)^(3-1)))*exp(-(t/100)^(3))}
```

```

weibull3=function(t){((3/200)*((t/200)^(3-1)))*exp(-(t/200)^(3))}

plot(weibull1,xlim= c(0,380),ylim= c(0,0.03),xlab="Tempo (horas)",ylab="Função
Densidade",lty=1)
plot(weibull2,0,380,xlab="Tempo (horas) ",ylab="Função Densidade", add=T,lty=2)
plot(weibull3,0,380,xlab="Tempo (horas) ",ylab="Função Densidade", add=T,lty=3)

legend(200,0.02,c("β=50","β=100","β=200"),lty=c(1,2,3),bty="n",cex=0.9)

```