



**Universidade de Brasília
Departamento de Estatística**

**Proposta de nova taxa de inovação de adoção de políticas públicas por meio
de modelo de regressão paramétrico para dados censurados**

Matheus Braga Milhomem

Relatório final apresentado para o Departamento de Estatística da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Estatística.

**Brasília
2022**

Matheus Braga Milhomem

Proposta de nova taxa de inovação de adoção de políticas públicas por meio de modelo de regressão paramétrico para dados censurados

Orientadora: Juliana Betini Fachini Gomes

Relatório final apresentado para o Departamento de Estatística da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Estatística.

**Brasília
2022**

Resumo

O presente trabalho propõe uma nova medida de inovação política a partir da função de risco do modelo de regressão paramétrico para dados censurados. O novo escore é uma evolução metodológica em relação aos escores tradicionais da literatura, uma vez que incorpora à medida as características dos estados americanos, por meio inclusão das variáveis explicativas na formulação da medida. O Escore de Riscos Globais proposto, é a soma do risco de cada uma das políticas avaliadas. Em relação ao conjunto de dados, para informações da variável resposta, o tempo de adoção e censura, foram utilizadas um subconjunto de três políticas da lista do artigo de Frederick J. Boehmke e Paul Skinner (2012). Já as variáveis explicativas foram coletadas de diversas fontes oficiais do governo americano. Para construir a nova medida de inovação proposta, foram utilizadas as técnicas e procedimentos da análise de sobrevivência, uma vez que na variável resposta há a presença de censura (não adoção da política). Assim, para avaliar a influência das variáveis explicativas no tempo de adoção das políticas foram ajustados modelos de regressão paramétricos.

Palavras-chave: Estatística, difusão, inovação política, escore de inovação, análise de sobrevivência, função de risco, censura, modelo de regressão paramétrico.

Lista de Tabelas

1	Resultados do teste similar à Wilcoxon para a política <i>Charter School</i> . . .	36
2	Resultados do teste <i>logrank</i> para a política <i>High School Exit Exams</i>	44
3	Resultados do teste similar à Wilcoxon para a política <i>School Choice</i> . . .	52
4	Medidas de informação para a política <i>School Choice</i>	58
5	Medidas de informação para a política <i>High School Exit Exams</i>	59
6	Medidas de informação para a política <i>School Choice</i>	60
7	Coefficientes estimados, erro padrão, estatística do teste e p-valor dos modelos contendo uma variável explicativa para política <i>Charter School</i> . . .	61
8	Coefficientes estimados, erro padrão, estatística do teste e p-valor do modelo final para a política <i>Charter School</i>	61
9	Coefficientes estimados, erro padrão, estatística do teste e p-valor dos modelos contendo uma variável explicativa para política <i>High School Exit Exams</i>	63
10	Coefficientes estimados, erro padrão, estatística do teste e p-valor do modelo final para a política <i>High School Exit Exams</i>	63
11	Coefficientes estimados, erro padrão, estatística do teste e p-valor dos modelos contendo uma variável explicativa para política <i>School Choice</i>	64
12	Coefficientes estimados, erro padrão, estatística do teste e p-valor do modelo final para a política <i>School Choice</i>	65
13	Escores de inovação	68

Lista de Figuras

1	Dois exemplos de comportamento da função de sobrevivência	16
2	Ilustração de diferentes formas da função de risco	17
3	Ilustração de alguns comportamentos da função de risco	18
4	Gráfico da curva de sobrevivência da política <i>Charter School</i>	33
5	Gráfico de barras para status para a política <i>Charter School</i>	34
6	Gráfico de barras para composição partidária das câmaras vs status para a política <i>Charter School</i>	35
7	Gráfico da curva de sobrevivência da composição partidária das câmaras legislativas para a política <i>Charter School</i>	36
8	Gráfico <i>boxplot</i> para medida de profissionalismo legislativo vs status para a política <i>Charter School</i>	37
9	Gráfico <i>boxplot</i> para medida de ideologia do cidadão vs status para a política <i>Charter School</i>	38
10	Gráfico <i>boxplot</i> para medida de ideologia do governo vs status para a política <i>Charter School</i>	39
11	Gráfico <i>boxplot</i> para o número de vezes que a palavra "educação" aparece na constituição estadual vs status para a política <i>Charter School</i>	40
12	Gráfico <i>boxplot</i> para o logaritmo do tamanho populacional vs status para a política <i>Charter School</i>	41
13	Gráfico da curva de sobrevivência da política <i>High School Exit Exams</i>	42
14	Gráfico de barras para status para a política <i>High School Exit Exams</i>	42
15	Gráfico de barras para composição partidária das câmaras vs status para a política <i>High School Exit Exams</i>	43
16	Gráfico da curva de sobrevivência da composição partidária das câmaras legislativas para a política <i>High School Exit Exams</i>	44
17	Gráfico <i>boxplot</i> para medida de profissionalismo legislativo vs status para a política <i>High School Exit Exams</i>	45
18	Gráfico <i>boxplot</i> para medida de ideologia do cidadão vs status para a política <i>High School Exit Exams</i>	46
19	Gráfico <i>boxplot</i> para medida de ideologia do governo vs status para a política <i>High School Exit Exams</i>	47

20	Gráfico <i>boxplot</i> para o número de vezes que a palavra "educação" aparece na constituição estadual vs status para a política <i>High School Exit Exams</i> .	48
21	Gráfico <i>boxplot</i> para o logaritmo do tamanho populacional vs status para a política <i>High School Exit Exams</i>	49
22	Gráfico da curva de sobrevivência da política <i>School Choice</i>	50
23	Gráfico de barras para status para a política <i>School Choice</i>	50
24	Gráfico de barras para composição partidária das câmaras vs status para a política <i>School Choice</i>	51
25	Gráfico da curva de sobrevivência da composição partidária das câmaras legislativas para a política <i>School Choice</i>	52
26	Gráfico <i>boxplot</i> para medida de profissionalismo legislativo vs status para a política <i>School Choice</i>	53
27	Gráfico <i>boxplot</i> para medida de ideologia do cidadão vs status para a política <i>School Choice</i>	54
28	Gráfico <i>boxplot</i> para medida de ideologia do governo vs status para a política <i>School Choice</i>	55
29	Gráfico <i>boxplot</i> para o número de vezes que a palavra "educação" aparece na constituição estadual vs status para a política <i>School Choice</i>	56
30	Gráfico <i>boxplot</i> para o logaritmo do tamanho populacional vs status para a política <i>School Choice</i>	57
31	Comparação entre Weibull e Log-logística para a política <i>Charter School</i> .	58
32	Comparação entre Weibull e Log-logística para a política <i>High School Exit Exams</i>	59
33	Comparação entre Weibull e Log-logística para a política <i>School Choice</i> . .	60
34	Resíduo de Cox-Snell	62
35	Curva de sobrevivência estimada	62
36	Resíduo de Cox-Snell	64
37	Curva de sobrevivência estimada	64
38	Resíduo de Cox-Snell	65
39	Curva de sobrevivência estimada	65

Sumário

1 Introdução	10
2 Objetivos	12
2.1 Objetivo Geral	12
2.2 Objetivos Específicos.	12
3 Revisão de Literatura	14
3.1 Conceitos Básicos de Análise de Sobrevivência	14
3.2 Função de Probabilidade	15
3.3 Função de Sobrevivência.	15
3.4 Função de Risco ou Função Taxa de Falha	16
3.5 Estimador de Kaplan-Meier	19
3.6 Modelos Probabilísticos	20
3.6.1 Distribuição Weibull	20
3.6.2 Distribuição Log-logística	21
3.7 Método de Máxima Verossimilhança	22
3.8 Modelo de Regressão Paramétrico	22
3.9 Intervalos de Confiança	24
3.10 Teste da Razão de Verossimilhança (TRV).	24
3.11 Critérios de Informação.	24
3.11.1 Critério de Informação de Akaike - AIC	24
3.11.2 Critério de Informação de Akaike corrigido - AICc	25
3.11.3 Critério de Informação Bayesiano - BIC	25
3.12 Adequação do Modelo	25
3.12.1 Resíduos de Cox-Snell	25
3.13 Difusão	26
3.14 Medidas de Inovação Política	26
4 Metodologia	30
4.1 Material	30
4.1.1 Banco de dados	30

4.2 Método	31
5 Análises e Resultados.	33
5.1 Análise Descritiva	33
5.1.1 <i>Charter School</i>	33
5.1.2 <i>High School Exit Exams</i>	41
5.1.3 <i>School Choice</i>	49
5.2 Modelagem	57
5.2.1 Seleção da distribuição de probabilidade	57
5.2.2 Seleção das variáveis explicativas	60
5.3 Comparação Entre as Medidas de Inovação	66
6 Conclusões e Considerações Finais	70
Referências.	72

1 Introdução

O ano de 1969 pode ser considerado como o marco inicial da literatura de difusão no contexto da Ciência Política, devido a publicação do artigo de Jack Walker, *The Diffusion of Innovations among the American States*. Apesar de já existirem artigos anteriores a este momento, esses não tiveram influência suficiente para atingir as áreas da Ciência Política (MELLO, 2012).

Nesse período, a abordagem de Walker buscava compreender a inovação de uma maneira bastante abrangente, considerando inovação como uma característica inerente aos estados. Desse modo, com a finalidade de avaliar a capacidade de inovação dos estados americanos, Walker construiu uma medida de inovação para investigar e comparar essa característica dos governos estaduais.

Desde a publicação de seu artigo, o trabalho de Walker tem influenciado diversos outros estudos sobre difusão de inovações, sendo citado em diversos artigos posteriores à sua época. No entanto, com o passar do tempo, e em função da evolução metodológica e do aumento da complexidade da análise dos processos de difusão a literatura foi se modificando, deixando de lado a questão original de tratar inovação como uma característica geral para estudar o fenômeno de difusão de uma única política.

Com a introdução do *Event History Analysis* ou (EHA), terminologia utilizada para a análise de sobrevivência na área da Ciência Política, uma nova metodologia proposta por Berry e Berry (1990) houve uma revolução e revitalização dos estudos de difusão, pois devido a essa técnica os estudiosos poderiam agora considerar diversos fatores que impactam no processo de adesão ou não adesão de uma política de interesse. Dessa forma, a utilização da EHA distanciou ainda mais os estudos de difusão da abordagem original proposta por Walker em 1969.

Como consequência dessa nova metodologia, a literatura foi capaz de estabelecer um enorme volume de informações valiosas sobre os padrões de difusão, avaliando a importância de diferentes fatores no processo de difusão de diversas políticas públicas. Contudo, apesar destas importantes descobertas, o valor de repetidas aplicações do EHA diminuiu, a medida que a quantidade desse tipo de análise aumenta, visto que há um limite do conhecimento que se pode adquirir aplicando-se um modelo similar para diferentes situações (BOEHMKE; SKINNER, 2012).

Assim, o presente trabalho motivado pelos índices de Walker e Boehmke e Skinner, busca analisar a difusão de inovações políticas de forma mais abrangente. Abordando, portanto, a inovação como uma característica relativa de cada estado. Logo, dentro desse contexto, inovação significa a tendência e capacidade do estado em adotar novas políticas.

Neste sentido, este trabalho propõe a elaboração e avaliação de uma nova medida de inovação, a partir de uma metodologia que leve em conta mais informações de cada um dos estados americanos. Considerando assim, a inovação como uma qualidade capaz de ser traduzida a partir de outros atributos observáveis.

Dessa maneira, um modelo de regressão é uma técnica estatística que permite relacionar uma lista de fatores, ou covariáveis, a uma variável resposta, que neste cenário seria o tempo de adoção das políticas. No entanto, como no contexto de difusão de inovações políticas há a possibilidade de dados censurados, isto é, a informação parcial da variável resposta, é necessário utilizar uma metodologia capaz de abranger a presença de censura.

Portanto, para avaliar o tempo de adoção das políticas foram utilizadas as técnicas e procedimentos da Análise de Sobrevivência, a fim de ajustar um modelo de regressão adaptado à presença da censura. Assim, o novo escore de inovação proposto será construído a partir dos resultados dos modelos de regressão referente ao tempo de adesão de uma lista de políticas.

Essas medidas se destacam, pois, a partir desses valores se torna possível rankear e classificar os estados e municípios de acordo com a tendência de inovação, podendo assim auxiliar em estratégias de difusão. Além de apoiar no estudo e avaliação de outras questões como velocidade de difusão, fatores que influenciam na decisão de adotar certa inovação e expandir o estudo de difusão de inovações para além do EHA.

Por fim, o presente trabalho está associado ao projeto de pesquisa “Estudos e Pesquisas para o aprimoramento das Capacidades Institucionais de Órgãos da Administração Pública para a elaboração, implementação e avaliação de políticas públicas e seus mecanismos de governança” da Escola Nacional de Administração (ENAP) em parceria com a Universidade de Brasília (UnB), busca através das técnicas e metodologias provenientes da Análise de Sobrevivência desenvolver essa nova medida de inovação.

2 Objetivos

2.1 Objetivo Geral

Propor nova medida de inovação para avaliar a inovação política dos estados americanos utilizando modelo de regressão paramétrico em análise de sobrevivência.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a capacidade da medida proposta em mensurar o grau de inovação política entre os estados americanos.
- Categorizar e ranquear os estados de acordo com a nova medida proposta.
- Comparar índice proposto com medidas de inovação tradicionais da literatura.

3 Revisão de Literatura

No presente capítulo, será feita uma revisão bibliográfica. Apresentando os principais conceitos de Análise de sobrevivência, e também definições importantes sobre difusão de políticas públicas.

3.1 Conceitos Básicos de Análise de Sobrevivência

A análise de sobrevivência é uma área da Estatística que reúne técnicas e procedimentos para estudar dados em que a variável resposta é o tempo decorrido até a ocorrência de um evento de interesse, esse tempo é denominado tempo de falha. Desse modo, é importante definir de maneira precisa o início do estudo, para medir o tempo de falha corretamente, e escala de tempo desejada, a fim de não comprometer a investigação.

Em estudos de sobrevivência, a resposta é por natureza longitudinal, isto é, as unidades observacionais são acompanhadas ao longo do tempo com o objetivo de verificar a ocorrência do evento.

A principal característica de dados de sobrevivência é a presença de censura, que é observação incompleta ou parcial da variável resposta. Em outras palavras, durante o período observado, algumas unidades podem não sofrer o evento de interesse, caracterizando dessa forma uma informação censurada.

Assim, é necessário um mecanismo que indique se o tempo observado é uma resposta incompleta ou um tempo de falha. O método utilizado é a inclusão de uma variável indicadora, representada por δ , e será igual a 1 se o elemento sofreu o evento e zero caso o contrário:

$$\delta_i = \begin{cases} 0, & \text{se o } i\text{-ésimo elemento foi censurado.} \\ 1, & \text{se o } i\text{-ésimo elemento falhou.} \end{cases} \quad (3.1.1)$$

A censura pode ocorrer ainda de três maneiras: censura à esquerda, censura intervalar e censura à direita. A censura à esquerda acontece quando o evento de interesse já ocorreu quando o indivíduo foi observado. A censura intervalar ocorre quando os elementos são acompanhados em visitas periódicas, assim é conhecido somente que o tempo de falha aconteceu em um determinado intervalo. Já a censura à direita, o caso mais comum, é definida quando o evento de interesse não ocorre até o último momento em que os elementos foram observados.

A censura à direita é classificada em três categorias:

- Censura do tipo I: após um tempo pré definido, ao final do estudo, alguns elementos não apresentaram o evento de interesse.
- Censura do tipo II: Censura do tipo II: o estudo é encerrado após um número pré estabelecido de eventos observados.
- Censura aleatória: ocorre quando um elemento é removido no decorrer do estudo sem ter apresentado a falha, por motivos não controláveis.

3.2 Função de Probabilidade

Para uma variável aleatória contínua T , que representa o tempo de falha. A função densidade de probabilidade, $f(t)$, é uma função não negativa tal que

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(t) dt = 1. \quad (3.2.1)$$

Para calcular a probabilidade da variável aleatória contínua T estar no intervalo $[a,b]$, basta calcular a seguinte expressão:

$$P(a \leq T \leq b) = \int_a^b f(t) dt. \quad (3.2.2)$$

A variável aleatória T , é definida como uma variável aleatória contínua se

$$P(T = t) = 0, \quad -\infty < t < \infty. \quad (3.2.3)$$

Em contrapartida, para uma variável aleatória T discreta, também representando o tempo de falha. Chama-se função de probabilidade definida por $p(t) = P(T = t)$, tal que o número real t é um valor possível de T se $p(t) > 0$. Assim, $p(t)$ deve satisfazer as seguintes propriedades:

1. $p(t) \geq 0, \quad t \in \mathbb{R}.$
2. $\sum_{t=0}^{\infty} p(t) = 1$

3.3 Função de Sobrevida

A função de sobrevivência, denotada por $S(t)$, é uma função decrescente definida como a probabilidade de uma observação não falhar até o tempo t , ou seja, é a

probabilidade de uma observação sobreviver ao tempo t . Essa função é definida como:

$$S(t) = P(T > t). \quad (3.3.1)$$

A função de sobrevivência possui relação com a função de probabilidade acumulada, $F(t) = P(T \leq t)$, da seguinte forma:

$$S(t) = P(T > t) = 1 - P(T \leq t) = 1 - F(t). \quad (3.3.2)$$

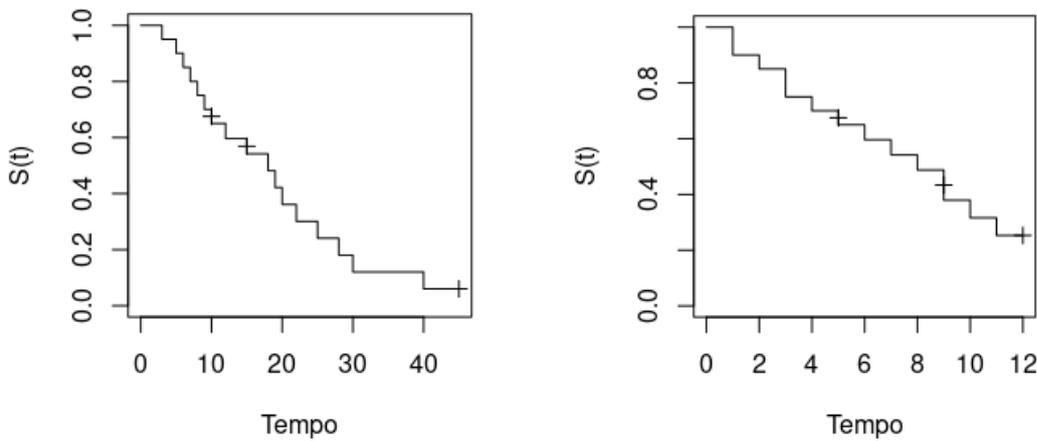


Figura 1: Dois exemplos de comportamento da função de sobrevivência

3.4 Função de Risco ou Função Taxa de Falha

A taxa de falha no intervalo $[t_1, t_2)$ é definida como a probabilidade de que a falha ocorra neste intervalo, dado que não ocorreu antes de t_1 , dividida pelo comprimento do intervalo. De maneira geral, a taxa de falha no intervalo $[t, t + \Delta t)$ é expressa por:

$$h(t) = \frac{S(t) - S(t + \Delta t)}{\Delta t S(t)} \quad (3.4.1)$$

Essa função pode ser expressa em termos da função densidade de probabilidade e da função de sobrevivência:

$$h(t) = \frac{f(t)}{S(t)}.$$

Assumindo Δt bem pequeno, $h(t)$ representa a taxa de falha instantânea no tempo t condicional à sobrevivência até o tempo t .

A função taxa de falha é não negativa, e é bastante útil para descrever o comportamento da variável tempo de sobrevivência pelo fato de assumir diferentes formas, sendo mais informativa nesse sentido do que a função de sobrevivência.

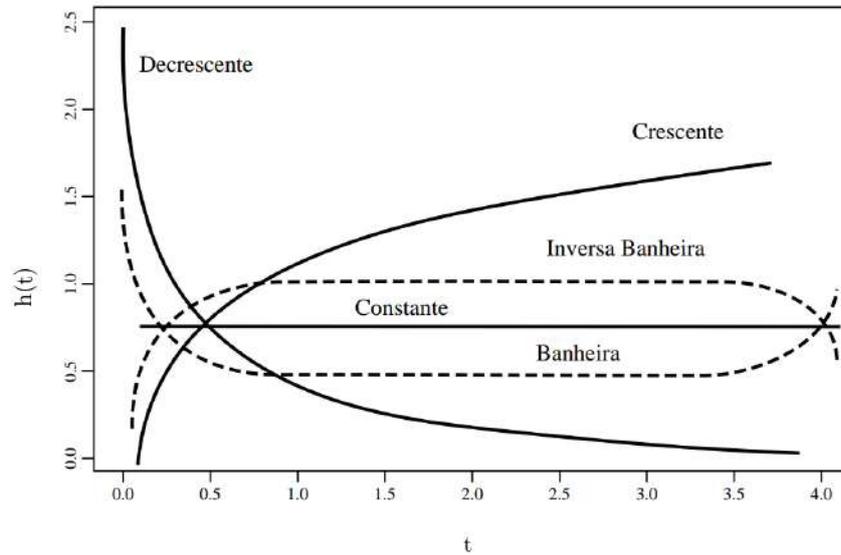


Figura 2: Ilustração de diferentes formas da função de risco

Como a função de risco do tempo de sobrevivência pode apresentar diferentes comportamentos, é importante utilizar uma metodologia a fim de identificar o modelo de probabilidade mais apropriado para uma dada situação. Dessa forma, o gráfico do tempo total em teste (TTT), proposto por Aarset (1987), permite identificar alguns comportamentos esperados da função de risco. A curva TTT é construída a partir da seguinte expressão:

$$G(r/n) = \frac{[\sum_{i=1}^r T_{i:n} + (n-r)T_{r:n}]}{\sum_{i=1}^n T_i}, \quad (3.4.2)$$

em que $r = 1, \dots, n$ e $T_{i:n}$, $i = 1, \dots, n$ são as estatísticas de ordem da amostra.

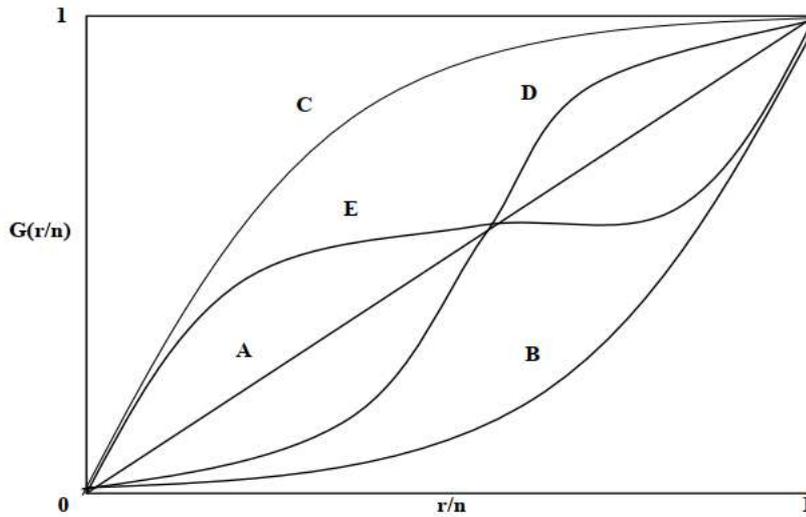


Figura 3: Ilustração de alguns comportamentos da função de risco

Logo, através da Figura 3 é possível identificar os seguintes comportamentos da função de risco:

- Reta diagonal (A): função de risco constante.
- Curva convexa (B): função de risco monotonicamente decrescente.
- Curva côncava (C): função de risco monotonicamente crescente.
- Curva convexa e depois côncava (D): função de risco unimodal.
- Curva côncava e depois convexa (E) : função de risco em forma de banheira **U**.

Uma outra medida importante associada à função taxa de falha é a função de risco acumulada, $H(t)$, e mede o risco de ocorrer o evento de interesse até um determinado tempo t . Em termos matemáticos, isso significa a soma de todos os riscos em todos os tempos até t . A $H(t)$ é expressa por:

$$H(t) = \int_0^t h(u) du \quad (3.4.3)$$

A função de risco acumulada não tem uma interpretação direta, porém é bastante útil para obter $h(t)$ na estimação não paramétrica. A $H(t)$, pode ser obtida também a partir da função de sobrevivência da seguinte forma:

$$H(t) = -\log(S(t)).$$

Além de auxiliar na obtenção da função de risco, a $H(t)$ é utilizada também no processo de identificar o modelo de probabilidade mais adequado quando há a presença de um grande número de censuras. Nessas situações é construído o gráfico da função de risco acumulada estimada, $\hat{H}(t)$.

A interpretação desse gráfico é similar à curva TTT, podendo assumir várias formas. Assim, com base na Figura 3 é possível identificar os seguintes comportamentos da função de risco:

- Reta diagonal (A): função de risco constante.
- Curva convexa (B): função de risco monotonicamente crescente.
- Curva côncava (C): função de risco monotonicamente decrescente.
- Curva convexa e depois côncava (D): função de risco unimodal.
- Curva côncava e depois convexa (E) : função de risco em forma de banheira **U**.

3.5 Estimador de Kaplan-Meier

Uma das técnicas mais utilizadas para estimar a função de sobrevivência é o estimador de Kaplan-Meier, conhecido também como limite-produto. É possível mostrar que $\hat{S}(t)$ é um estimador de máxima verossimilhança não paramétrico de $S(t)$, é não viciado para grandes amostras, é fracamente consistente e converge assintoticamente para uma distribuição Normal. Na ausência de censura, esse estimador é definido como:

$$\hat{S}(t) = \frac{\text{número de observações que não falharam até o tempo } t}{\text{número total de observações no estudo}}. \quad (3.5.1)$$

Considerando agora, que existam n elementos no estudo e foram observadas k ($\leq n$) falhas nos tempos $t_1 < t_2 < \dots < t_k$. Então, o estimador de Kaplan-Meier é expresso por:

$$\hat{S}(t) = \prod_{j:t_j < t} \left(1 - \frac{d_j}{n_j}\right), \quad (3.5.2)$$

sendo, n_j o número de elementos sob risco em t_j , isso é, aqueles que não falharam e não foram censurados até o instante imediatamente anterior a t_j e d_j é o número de falhas em t_j , $j = 1, 2, \dots, k$.

3.6 Modelos Probabilísticos

3.6.1 Distribuição Weibull

A distribuição de Weibull é um modelo de probabilidade bastante utilizado em diversas áreas de estudo devido apresentar uma grande variedade de formas. Para uma variável aleatória T , a função densidade de probabilidade é expressa por:

$$f(t) = \frac{\gamma}{\alpha^\gamma} t^{\gamma-1} \exp \left\{ - \left(\frac{t}{\alpha} \right)^\gamma \right\}, \quad t \geq 0, \quad (3.6.1)$$

em que γ é o parâmetro de forma, e α o parâmetro de escala, sendo ambos positivos.

Para, esta distribuição, a função de sobrevivência e a função taxa de falha são, respectivamente

$$S(t) = \exp \left\{ - \left(\frac{t}{\alpha} \right)^\gamma \right\} \quad (3.6.2)$$

e

$$h(t) = \frac{\gamma}{\alpha^\gamma} t^{\gamma-1}, \quad (3.6.3)$$

em que, $t \geq 0$ e $\alpha, \gamma > 0$. Como descrito na seção 3.4, a função de risco é mais informativa do que a função de sobrevivência por assumir diferentes formas. Assim, nota-se que $h(t)$ é estritamente crescente para $\gamma > 1$, estritamente decrescente para $\gamma < 1$ e constante para $\gamma = 1$.

Muitas vezes é mais conveniente trabalhar com o logaritmo dos tempos. Assim, é importante abordar também uma distribuição relacionada a de Weibull. Dessa forma, se T tem distribuição de Weibull, então a variável $Y = \log(T)$ tem distribuição do valor extremo (ou Gâmbel). A função de densidade de Y é expressa por:

$$f(y) = \frac{1}{\sigma} \exp \left\{ \left(\frac{y - \mu}{\sigma} \right) - \exp \left\{ \frac{y - \mu}{\sigma} \right\} \right\}, \quad (3.6.4)$$

em que $y, \mu \in \mathbb{R}$ e $\sigma > 0$. Os parâmetros das distribuições de Weibull e do valor extremo apresentam as seguintes relações, $\gamma = \frac{1}{\sigma}$ e $\alpha = \exp(\mu)$.

A função de sobrevivência e a função de risco da variável aleatória Y representadas, respectivamente, por:

$$S(y) = \exp \left\{ -\exp \left\{ \frac{y - \mu}{\sigma} \right\} \right\} \quad (3.6.5)$$

e

$$h(y) = \frac{1}{\sigma} \exp \left\{ \frac{y - \mu}{\sigma} \right\}. \quad (3.6.6)$$

3.6.2 Distribuição Log-logística

A distribuição Log-logística é bastante utilizada em situações práticas, por ser uma alternativa às outros modelos de probabilidade como a Weibull e a Log-normal. Seja T uma variável aleatória, a distribuição log-logística apresenta função densidade de probabilidade expressa por,

$$f(t) = \frac{\gamma}{\alpha^\gamma} t^{\gamma-1} (1 + (t/\alpha)^\gamma)^{-2}, \quad t > 0. \quad (3.6.7)$$

Sendo, $\alpha > 0$ o parâmetro de escala e $\gamma > 0$ o parâmetro de forma. As funções de sobrevivência e de taxa de falha são expressas, respectivamente, por:

$$S(t) = \frac{1}{1 + (t/\alpha)^\gamma} \quad (3.6.8)$$

e

$$h(t) = \frac{\gamma(t/\alpha)^{\gamma-1}}{\alpha [1 + (t/\alpha)^\gamma]}. \quad (3.6.9)$$

A depender da situação, é mais apropriado trabalhar com logaritmo do tempo de falha. Assim, se T é uma variável aleatória que segue uma distribuição log-logística, então $Y = \log(T)$, segue uma distribuição logística. A função de densidade de Y é dada por:

$$f(y) = \frac{1}{\sigma} \exp \left\{ \frac{y - \mu}{\sigma} \right\} \left(1 + \exp \left\{ \frac{y - \mu}{\sigma} \right\} \right)^{-2}, \quad (3.6.10)$$

com $-\infty < \mu < \infty$ e $\sigma > 0$. Os parâmetros das distribuições log-logística e logística apresentam as seguintes relações, $\gamma = \frac{1}{\sigma}$ e $\alpha = \exp(\mu)$.

A função de sobrevivência e a função de taxa de falha da distribuição logística são, respectivamente,

$$S(y) = \frac{1}{1 + \exp \left\{ \frac{y - \mu}{\sigma} \right\}} \quad (3.6.11)$$

e

$$h(t) = \frac{1}{\sigma} \exp \left\{ \frac{y - \mu}{\sigma} \right\} \left(1 + \exp \left\{ \frac{y - \mu}{\sigma} \right\} \right)^{-1}. \quad (3.6.12)$$

3.7 Método de Máxima Verossimilhança

Seja t_1, \dots, t_n uma amostra aleatória observada de uma variável aleatória T , $f(t; \boldsymbol{\theta})$ representa a função densidade de probabilidade e $\boldsymbol{\theta}$ é o vetor genérico da função densidade de probabilidade. A função de verossimilhança para $\boldsymbol{\theta}$ é expressa por:

$$L(\boldsymbol{\theta}) = \prod_{i=1}^n f(t_i; \boldsymbol{\theta}). \quad (3.7.1)$$

A função de verossimilhança é utilizada considerando que todos os elementos da amostra experimentam o evento de interesse. No entanto, em análise de sobrevivência nem todos os elementos sofrem necessariamente o evento de interesse. Dessa forma, as observações censuradas devem ser diferenciadas dos tempos de falha.

Então, as observações devem ser divididas em dois grupos, as r primeiras são as não censuradas e sua contribuição para a função de verossimilhança é dada por $f(t; \boldsymbol{\theta})$. Logo, as $n - r$ observações restantes são as censuradas e sua contribuição para a função de verossimilhança é dada pela função de sobrevivência $S(t; \boldsymbol{\theta})$. Assim, a função de verossimilhança adaptada para a análise de sobrevivência é expressa da seguinte forma:

$$L(\boldsymbol{\theta}) \propto \prod_{i=1}^n [f(t_i; \boldsymbol{\theta})]^{\delta_i} [S(t_i; \boldsymbol{\theta})]^{1-\delta_i}. \quad (3.7.2)$$

Em que δ_i é a variável indicadora de falha, $f(t; \boldsymbol{\theta})$ e $S(t; \boldsymbol{\theta})$ são, respectivamente, a função de densidade e a função de sobrevivência do modelo probabilístico considerado.

Os estimadores de máxima verossimilhança são os valores de $\boldsymbol{\theta}$ que maximizam $L(\boldsymbol{\theta})$ ou equivalentemente o logaritmo de $L(\boldsymbol{\theta})$, $\log(L(\boldsymbol{\theta}))$. Assim, os estimadores são obtidos resolvendo o sistema de equações:

$$\frac{\partial \log(L(\boldsymbol{\theta}))}{\partial \boldsymbol{\theta}} = 0.$$

3.8 Modelo de Regressão Paramétrico

O objetivo de um modelo regressão é estimar o efeito $\boldsymbol{\theta}$ de p variáveis explicativas, $\boldsymbol{x}^t = (1, x_1, x_2, \dots, x_p)$, sobre o tempo de sobrevivência. Dessa forma, utiliza-se uma

função de ligação, $g(\cdot)$, para relacionar esse conjunto de variáveis preditoras com a variável resposta.

Então, para um conjunto p de covariáveis, o vetor de parâmetros $\boldsymbol{\theta}$ será estimado de acordo com a expressão:

$$\boldsymbol{\theta} = g(\mathbf{x}^t \boldsymbol{\beta}), \quad (3.8.1)$$

em que $\boldsymbol{\beta} = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p)^t$ é o vetor de coeficientes de regressão.

Assim sendo, ao considerar as distribuições de probabilidade definidas em 3.6.1 e 3.6.2, o modelo de regressão Weibull é determinado por:

$$f(t|x) = \frac{\gamma}{(\exp(\mathbf{x}^t \boldsymbol{\beta}))^\gamma} t^{\gamma-1} \exp \left\{ - \left(\frac{t}{\exp(\mathbf{x}^t \boldsymbol{\beta})} \right)^\gamma \right\}. \quad (3.8.2)$$

A função de sobrevivência e a função de risco correspondente são definidas, respectivamente, por:

$$S(t|x) = \exp \left\{ - \left(\frac{t}{\exp(\mathbf{x}^t \boldsymbol{\beta})} \right)^\gamma \right\} \quad (3.8.3)$$

e

$$h(t|x) = \frac{\gamma}{(\exp(\mathbf{x}^t \boldsymbol{\beta}))^\gamma} t^{\gamma-1}. \quad (3.8.4)$$

E, conseqüentemente, o modelo de regressão Log-logístico é representado por:

$$f(t|x) = \frac{\gamma}{\exp(\mathbf{x}^t \boldsymbol{\beta})^\gamma} t^{\gamma-1} \left(1 + \left(\frac{t}{\exp(\mathbf{x}^t \boldsymbol{\beta})} \right)^\gamma \right)^{-2}. \quad (3.8.5)$$

E então, a função de sobrevivência e a função taxa de falha são determinadas, respectivamente, por:

$$S(t|x) = \frac{1}{1 + (t/\exp(\mathbf{x}^t \boldsymbol{\beta}))^\gamma}, \quad (3.8.6)$$

e

$$h(t|x) = \frac{\gamma (t/\exp(\mathbf{x}^t \boldsymbol{\beta}))^{\gamma-1}}{\exp(\mathbf{x}^t \boldsymbol{\beta}) [1 + (t/\exp(\mathbf{x}^t \boldsymbol{\beta}))^\gamma]}. \quad (3.8.7)$$

Para estimar os parâmetros do modelo de regressão será utilizado o método de máxima verossimilhança descrito na seção 3.7.

3.9 Intervalos de Confiança

Uma importante propriedade dos estimadores de máxima verossimilhança é a que diz respeito à distribuição assintótica. Para grandes amostras, é possível verificar que $\hat{\boldsymbol{\theta}}$ converge assintoticamente para uma distribuição Normal multivariada com média $\boldsymbol{\theta}$ e matriz de variância e covariância $\text{Var}(\hat{\boldsymbol{\theta}})$, assim

$$\hat{\boldsymbol{\theta}} \sim N_k(\boldsymbol{\theta}, \text{Var}(\boldsymbol{\theta})),$$

em que $\text{Var}(\hat{\boldsymbol{\theta}})$ é aproximadamente a inversa da informação de Fisher observada na amostra.

3.10 Teste da Razão de Verossimilhança (TRV)

Para um modelo com um vetor $\boldsymbol{\theta}$ de parâmetros, é interessante poder testar hipóteses comparando esse vetor com um subconjunto dele.

O teste da razão de verossimilhança é baseada na função de verossimilhança e envolve comparar os valores de $\log(L(\boldsymbol{\theta}))$ maximizada e sob a hipótese nula. A estatística do teste é expressa por:

$$\text{TRV} = -2\log \left[\frac{L(\boldsymbol{\theta}_0)}{L(\hat{\boldsymbol{\theta}})} \right] = 2[\log L(\hat{\boldsymbol{\theta}}) - \log L(\boldsymbol{\theta}_0)] \quad (3.10.1)$$

3.11 Critérios de Informação

Como forma de avaliar os diferentes modelos propostos é interessante considerar algumas medidas que permitam encontrar o modelo mais adequado. As medidas descritas a seguir utilizam o valor do logaritmo da verossimilhança e o número de parâmetros do modelo (p) como base.

3.11.1 Critério de Informação de Akaike - AIC

A ideia fundamental é selecionar um modelo que seja parcimonioso, ou seja, que esteja bem ajustado e com um número pequeno de parâmetros. O critério de Akaike penaliza modelos com um maior número de parâmetros, uma vez que o objetivo é encontrar

o modelo com o menor valor da seguinte expressão:

$$\text{AIC} = -2\log L(\hat{\theta}) + 2p. \quad (3.11.1)$$

3.11.2 Critério de Informação de Akaike corrigido - AICc

A correção do critério de informação de Akaike (AICc), busca ajustar o AIC quando o há muitos parâmetros, em relação com o tamanho da amostra.

$$\text{AIC}_c = \text{AIC} + 2 \cdot \frac{p + (p + 1)}{n - p - 1}, \quad (3.11.2)$$

em que n seria o tamanho da amostra.

3.11.3 Critério de Informação Bayesiano - BIC

A proposta do BIC, da mesma forma que o AIC, é penalizar modelos com um grande de parâmatros. O critério de informação bayesiano tende a ser mais parcimonioso do que os demais critérios, pois define uma penalização maior para a quantidade de parâmetros, tendendo assim selecionar o modelo com o menor número de parâmetros.

$$\text{BIC} = -2\log L(\hat{\theta}) + p \log n. \quad (3.11.3)$$

3.12 Adequação do Modelo

De acordo Colosimo e Giolo (2006), o diagnóstico de modelos é um procedimento feito para rejeitar modelos inapropriados e não comprovar a eficiência de uma modelagem. Assim, a avaliação do modelo é feita por meio da investigação de gráficos dos resíduos.

3.12.1 Resíduos de Cox-Snell

Os resíduos de Cox-Snell auxiliam a examinar o ajuste global do modelo final. Esses resíduos são calculados por (COLOSIMO; GIOLO, 2006)

$$\hat{e}_i = \hat{H}(t_i | x_i), \quad (3.12.1)$$

em que $\hat{H}(\cdot)$ é a função de risco acumulada do modelo ajustado e x_i o vetor de variáveis explicativas inseridas no modelo.

3.13 Difusão

Estudos de difusão de políticas públicas têm como questão central compreender os motivos e fatores que levam inovações políticas a se disseminarem no sistema. Nesse contexto de delineamentos políticos, inovação é estabelecida no sentido simplesmente de novidade, e não necessariamente como um melhor alternativa à política atualmente vigente (DEARING; COX, 2015).

Duas definições tradicionais de difusão podem ser encontradas nos trabalhos de Rogers (1995) e Strang (1991). Rogers define difusão como o processo no qual uma inovação política é comunicada por meio de certos canais ao longo do tempo entre os membros de um sistema social. Já Strang, aponta difusão como o processo no qual as decisões políticas de um governo alteram a probabilidade da escolha dos outros governos. Apesar de distintas, essas duas visões se complementam e contextualizam a definição de difusão no cenário de inovações políticas.

3.14 Medidas de Inovação Política

Como forma de mensurar a inovação entre diferentes governos é interessante considerar medidas capazes de traduzir essa propensão em inovar. Os estudos de Jack Walker (1969), centrado nos estados norte americanos, podem ser considerados como o marco inicial da literatura de difusão em Ciência Política, sendo citado em diversos artigos.

Uma importante contribuição dos estudos de Walker é considerar a inovação como uma característica inerente aos estados, um aspecto que a literatura de difusão deixou de lado com o passar do tempo, devido a introdução de novas metodologias.

A seguir é abordado o índice de inovação de Walker, assim como o *Adoption Rate Score* medida de Boehmke e Skinner (2012) que faz uso da lógica da análise de sobrevivência para tentar abordar supostas lacunas da medida proposta por Walker.

Escore de Inovação de Walker

O índice de Walker avalia o ano de adoção de um estado i relativo ao primeiro e ao último ano de adoção de uma política pública k . Essa medida possibilita comparar de forma simples o grau de inovação para diversas políticas. A medida de inovação de Walker é expressa por:

$$W_{ik} = \frac{Y_k^{MAX} - Y_{ik}}{Y_k^{MAX} - Y_k^{MIN}}, \quad W_{ik} \in [0, 1]. \quad (3.14.1)$$

Em que Y_k^{MIN} , Y_k^{MAX} e Y_{ik} , são, respectivamente o ano que o primeiro estado aderiu a política k , o último ano de adoção da política k e o ano de adesão do estado i referente à política k .

Para construir uma medida de inovação geral para cada estado, Walker calcula a média estadual do escore W_{ik} , referente a cada política observada.

$$\bar{W}_i = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K W_{ik}. \quad (3.14.2)$$

Esse índice geral apresenta algumas propriedades de interesse, pois simplifica a análise e quantifica a tendência geral do estado em inovar. A partir da fórmula 3.12.1, é possível normalizar a medida relativo a cada política k permite uma comparação simples e torna a medida a interpretação mais intuitiva, uma vez que quanto maior o valor de \bar{W}_i , maior o grau de inovação do estado.

A medida de inovação de Walker possui algumas críticas, sendo a principal a falta de distinção entre os estados que não adotaram uma determinada política durante um período e aqueles estados que adotaram por último nesse mesmo período. Em ambas as situações o escore do estado é computado igual a zero.

Outra crítica feita à medida do Walker é considerar somente o tempo de adesão das políticas na formulação do escore, ignorando assim quaisquer fatores externos e tendências de inovação ao longo do tempo.

Escore Taxa de Adoção (*Adoption Rate Score*)

Conforme Boehmke e Skinner, os autores utilizam a lógica da análise de sobrevivência para construir o índice de inovação, buscando, assim, corrigir lacunas metodológicas de outros índices.

Assim, para medir a taxa de inovação de um estado i num intervalo de tempo, essa medida é expressa por:

$$R_{it} = \frac{\sum_{i=1}^{K_{it}} Y_{ikt}}{K_{it}}, \quad (3.14.3)$$

em que,

- Y_{ikt} : assume valor igual a zero para estados em que não aderiram a política no ano t , valor igual a um para os que aderiram e é tratada como missing nos anos subseqüentes.

- K_{it} : representar o número de políticas adotadas por pelo menos um estado - mas não pelo estado i - no ano t (ou seja, o número de políticas que o estado i poderia potencialmente adotar no ano t).

Essa medida pode ser calculada em períodos de tempo arbitrários para produzir a taxa de inovação para o estado i , sendo expressa da seguinte forma:

$$\bar{R}_{ij} = \frac{\sum_{t=T_0}^T \sum_{i=1}^{K_{it}} Y_{ikt}}{\sum_{t=T_0}^T K_{it}}, \quad (3.14.4)$$

em que, T_0 o tempo inicial definido e T o tempo final.

De acordo com os autores, esse score proposta por eles apresenta algumas vantagens, pois aborda a censura a direita, facilita a construção da medida da diferentes intervalos de tempo e utiliza a informação da adoção ou não adoção para construir a medida, ao invés de empregar somente o tempo de adesão.

Por outro lado, a taxa de inovação de Boehmke e Skinner (2012) mesmo abordando algumas preocupações de outras medidas, ainda não soluciona algumas lacunas importantes. Por exemplo, a medida ainda não é capaz de avaliar fatores externos que possam influenciar o tempo de adesão das políticas, e conseqüentemente o nível de inovação dos estados.

4 Metodologia

4.1 Material

4.1.1 Banco de dados

A partir da lista de políticas públicas catalogadas no artigo *State Innovativeness Revisited* (2012) de Boehmke e Skinner, foi possível obter o tempo de adesão para 137 políticas para todos os 50 estados americanos. Assim, com base nessa informação, foi construída a variável indicadora de censura.

Por conta da ligação com o projeto de pesquisa, foram escolhidas para construir a medida de inovação somente as políticas referentes à educação, totalizando assim sete políticas. No entanto, quatro dessas políticas de educação foram instituídas entre 1930 e 1960, assim devido à dificuldade de obter variáveis explicativas para esse período e por considerar que há diferenças significativas entre as políticas instituídas num período consideravelmente distante foram analisadas somente as políticas com tempo de adoção entre 1970 e 2000.

Dessa forma, ao final restaram três políticas: *Charter School*, *High School Exit Exams* e *School Choice*. Em relação aos estados, a literatura recomenda excluir Hawaii e Alaska por serem unidades não contíguas e apresentaram características distintas dos demais estados. Assim, foi construída a medida de inovação para os 48 estados restantes.

Além do tempo de adesão e da variável indicadora de censura, foram coletadas também um conjunto de variáveis explicativas de diferentes fontes, com o objetivo de ajustar um modelo de regressão. Logo, as seguintes variáveis explicativas foram inseridas no banco de dados: medida estadual de ideologia do cidadão, medida estadual de ideologia do governo, estimativas intercensitárias do tamanho populacional para o ano 2000, número de vezes que a palavra "educação" aparece em cada constituição estadual, composição partidária das câmaras legislativas e, por fim, uma medida de profissionalismo legislativo.

As medidas estaduais da ideologia do cidadão e do governo foram encontradas no *website* de Richard C. Fording, professor do Departamento de Ciência Política da Universidade do Alabama. Em função do nível de detalhamento dessa informação, foi possível obter a medida no ano de adoção de cada política e de cada um dos estados.

As estimativas intercensitárias para o ano 2000 foram obtidas de fontes oficiais do governo, mais especificamente do Departamento do Censo dos Estados Unidos.

A variável número de vezes que a palavra "educação" aparece nas constituições estaduais foi fornecida pelo Denilson Bandeira Coêlho, Professor Associado do Instituto

de Ciência Política da Universidade de Brasília e Coordenador do Bacharelado em Graduação.

A informação sobre a composição partidária das câmaras legislativas foi obtida a partir da *National Conference of State Legislatures* (NCSL), uma associação de funcionários públicos apartidários composta por legisladores estaduais em atividade nos estados, territórios e comunidades dos Estados Unidos. Esta é uma variável que classifica o estado em relação a que partido político controla o maior número de lugares no senado estadual e na assembleia estadual. No entanto, Nebraska não é classificado dessa forma por ter uma composição única. Assim, os estados são categorizados entre Democrata, Republicano ou Dividido.

Por fim, a medida de profissionalismo legislativo estaduais foi obtida a partir de fontes oficiais do governo. Além disso, todas as covariáveis, com exceção da estimativa populacional, foram inseridas no banco de dados com os valores referentes ao ano de adoção da política por parte do estado, ou referente ao ano mais próximo disponível.

4.2 Método

Todos os governos possuem a mesma tendência a inovar? Todos os estados devem receber os mesmos incentivos para adotar uma nova política? Quais são os estados mais inovadores? Esses são questionamentos relevantes que podem auxiliar na decisão de governos federais, na disseminação de novos programas políticos, na alocação de recursos. Dessa forma, em concordância com diversos estudos de difusão, não se pode negar a importância de entender e caracterizar o comportamento de governos estaduais, municipais ou estaduais em relação à tendência a adotar novos programas políticos.

Assim, o presente trabalho, influenciado pelos artigos de Jack Walker (1969), Boehmke e Skinner (2012), propõe uma nova metodologia para avaliar o grau de inovação política dos estados. Essa nova medida é uma evolução em relação aos escores tradicionais inovação, pois emprega elementos e conceitos da análise de sobrevivência, como a censura e o tempo de falha, além de considerar fatores externas e internos dos estados, através de variáveis explicativas.

Utilizar variáveis independentes para explicar a diferença entre os estados é uma das sugestões de Boehmke e Skinner (2012) para renovar os estudos de inovação de maneira geral. Assim, para avaliar a influência das variáveis explicativas no tempo de falha e incorporar essas informações na nova medida, será ajustado um modelo de regressão paramétrico para cada uma das políticas examinadas.

Assim, supondo independência estatística entre os tempos de falha das três políticas, após o ajuste dos modelos será calculado o risco, ou taxa de falha, com base nas estimati-

vas obtidas dos modelos e considerando também um tempo t de interesse. A partir disso, a medida de inovação proposta é dada pela soma dos riscos para cada política em um mesmo período de tempo. Dessa forma, quanto maior o escore de inovação, maior será o risco, e assim mais inovador será o estado. Portanto, o escore de risco global proposto neste trabalho é:

$$h_{eg}(t|\mathbf{x}) = h_1(t|\mathbf{x}) + h_2(t|\mathbf{x}) + h_3(t|\mathbf{x}), \quad (4.2.1)$$

em que $h_1(t|\mathbf{x})$ é a função de risco para a política *Charter School*, $h_2(t|\mathbf{x})$ a função de risco para a política *High School Exit Exams* e $h_3(t|\mathbf{x})$ a função de risco da política *School Choice*.

Generalizando, o escore de risco global é expresso por:

$$h_{eg}(t|\mathbf{x}) = \sum_{j=1}^k h_j(t|\mathbf{x}), \quad (4.2.2)$$

em que $h_j(t|\mathbf{x})$ é a função de risco de um modelo de regressão paramétrico definido na seção 3.8 e $j = 1, 2, \dots, k$, sendo k o número de políticas independentes.

Destaca-se ainda que a nova medida proposta é bastante flexível, pois além de levar em consideração uma série de fatores e características dos estados é possível também avaliar a inovação dos estados para diversos momentos no tempo.

Por fim, é importante observar as limitações das medidas tradicionais em frente a nova metodologia. O escore de Walker, equação 3.14.2, é o mais limitado, pois incorpora em sua formulação somente o ano de adoção das políticas. Um problema imediato dessa medida é a impossibilidade de distinguir um estado censurado de um estado que falhou no último ano observado, pois em ambos os casos seria atribuído um escore de inovação igual a zero, o que é não é empiricamente verdade.

Já o *adoption rate score*, expresso em 3.14.4, apesar de abordar o conceito de censura a direita, os autores o fazem de maneira indireta, apenas penalizando o escore dos estados para cada política não adotada. Assim, nota-se uma evolução significativa dessa nova medida em relação aos escores tradicionais de inovação.

5 Análises e Resultados

5.1 Análise Descritiva

5.1.1 *Charter School*

Tempo de falha

A política *Charter School* foi observada durante 6 anos, de 1991 até 1996. Nos dois primeiros anos houve somente uma adesão, o que é explicado pela pequena queda na probabilidade de sobrevivência na Figura 4. Do terceiro ano em diante as quedas são mais acentuadas com mais de 6 adesões em cada período, com exceção do quarto ano com somente duas.

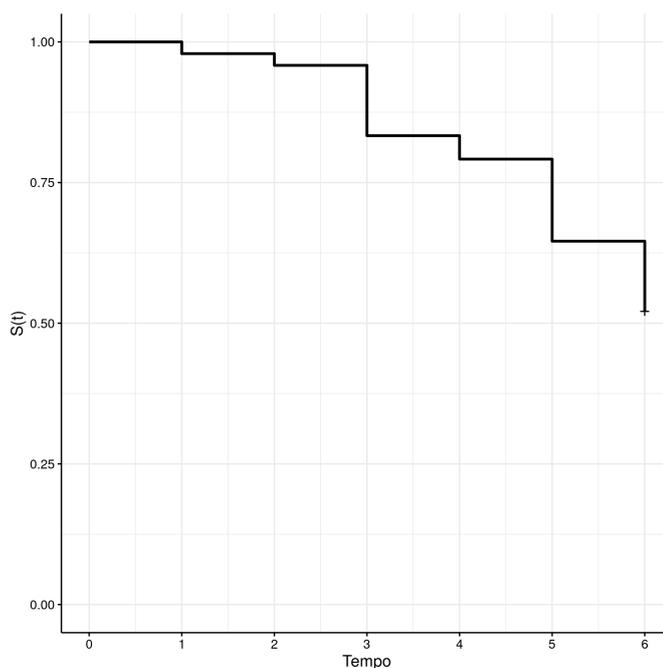


Figura 4: Gráfico da curva de sobrevivência da política *Charter School*

Status

Status é uma variável indicadora binária que determina se o estado teve um tempo de falha ou de censura.

Dos 48 estados americanos observados, 23 estados adotaram a política *Charter School*, enquanto 25 não adotaram. Em termos percentuais, quase 48% aderiram essa política, ou seja, apresentam um tempo de falha.

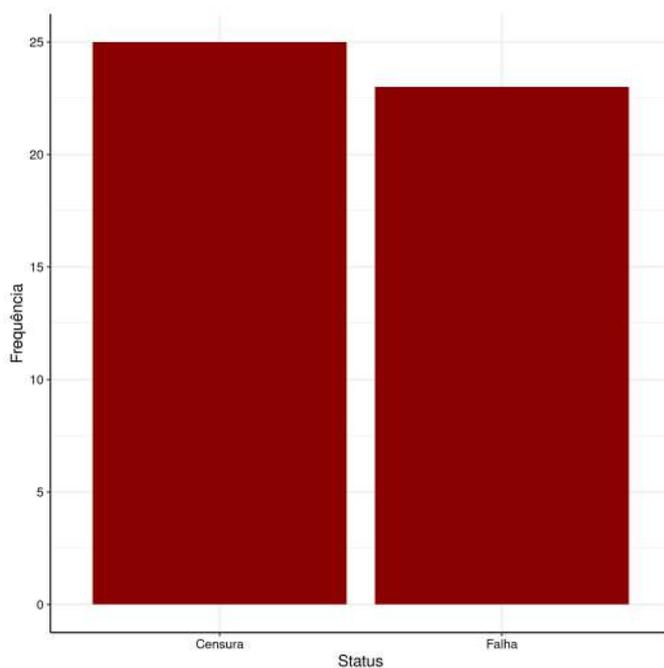


Figura 5: Gráfico de barras para status para a política *Charter School*

Por fim, note também que partir da Figura 4 é possível observar que no sexto ano pouco mais de 50% dos estados, ainda não falharam.

Composição partidária das câmaras

A composição estadual das câmaras legislativas estaduais é uma variável que indica qual partido possui maioria em ambas câmaras estaduais. Assim, a partir do gráfico de barras da Figura 6 é possível notar que duas informações: o número de estados classificados por meio da composição partidária e o número de falhas e censuras em cada uma dessas categorias.

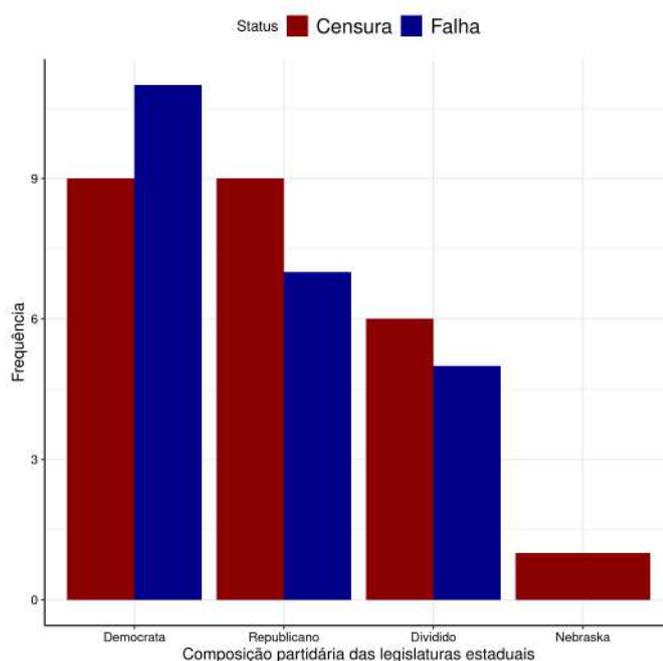


Figura 6: Gráfico de barras para composição partidária das câmaras vs status para a política *Charter School*

Logo, fica evidente que há um número maior de estados classificados como Democratas e entre esses estados há um maior número de falhas. Exatamente 11 estados adotaram essa política, enquanto 9 não adotaram.

Já para as outras classes essa relação não se mantém, existe um número maior de estados censurados para os estados classificados como Republicanos e Divididos. Há 16 Republicanos, sendo que nove desses estados não adotaram a política. Já em relação aos estados divididos tem-se 11 observações, sendo que 5 são tempos de falha, ou seja, adotaram a política.

Abaixo encontra-se a curva de sobrevivência para nível da variável, removendo Nebraska por apresentar uma composição única.

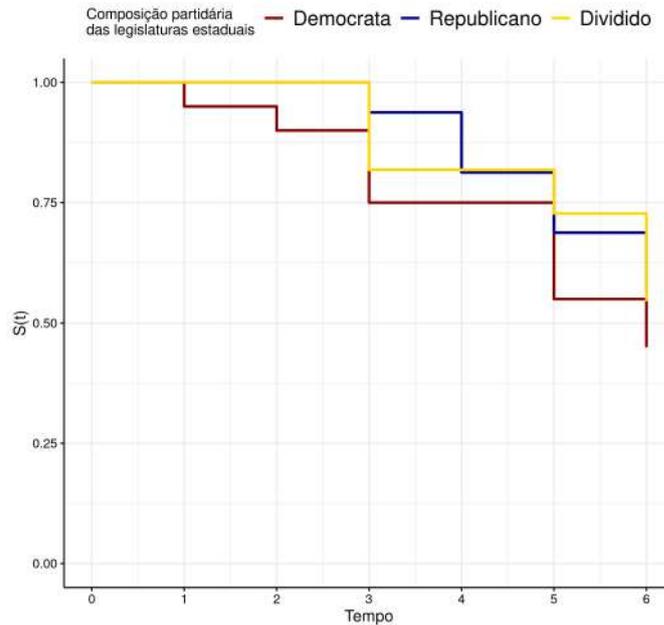


Figura 7: Gráfico da curva de sobrevivência da composição partidária das câmaras legislativas para a política *Charter School*

De maneira geral, os estados com maioria Democrata nas câmaras estaduais apresentam uma menor probabilidade de não adotar a política, no entanto essa diferença não parece ser muito significativa a partir da análise gráfica. Outra forma de verificar se existe de fato uma diferença entre esses níveis foi realizado um teste de hipótese similar à Wilcoxon, pois as curvas de sobrevivência não são proporcionais. Assim as hipóteses são:

$$\begin{cases} H_0 : \text{Não existe diferença entre as curvas de sobrevivência} \\ H_1 : \text{Existe diferença entre as curvas de sobrevivência} \end{cases}$$

Tabela 1: Resultados do teste similar à Wilcoxon para a política *Charter School*

Estatística do teste	Graus de liberdade	P-valor
1.068165	2	0.586207

Considerando um nível de significância de 5% não há diferença entre as curvas de sobrevivência entre Democrata, Republicano e Dividido. Fortalecendo assim a análise gráfica.

Profissionalismo legislativo

Observando a Figura 8, é notável uma diferença entre os estados que adotaram em relação aos que não adotaram a política *Charter School*. No geral, é evidente que estados que aderiram a política apresentam um maior nível de profissionalismo legislativo.

Dentre os estados censurados há uma menor dispersão dos dados com somente um valor atípico, enquanto os estados adotantes possuem três *outliers*.

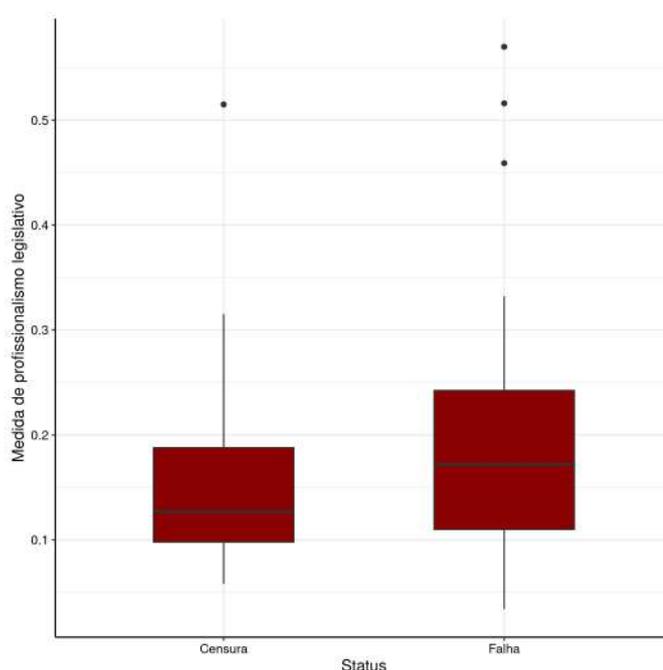


Figura 8: Gráfico *boxplot* para medida de profissionalismo legislativo vs status para a política *Charter School*

Medida de ideologia do cidadão

Em relação à Figura 9, os estados que adotaram a política apresentam uma amplitude ligeiramente maior para esta medida. Além de possuírem um mediana também maior, apesar de bastante próxima, 41.26 aproximadamente para os censurados e 43.45 para os estados adotantes.

De maneira geral não aparenta existir uma diferença significativa da ideologia do cidadão em função do status do estado.

Dentre os estados censurados, há uma observação discrepante, com um valor consideravelmente menor que as demais. Situação que não acontece com os estados que aderiram à política.

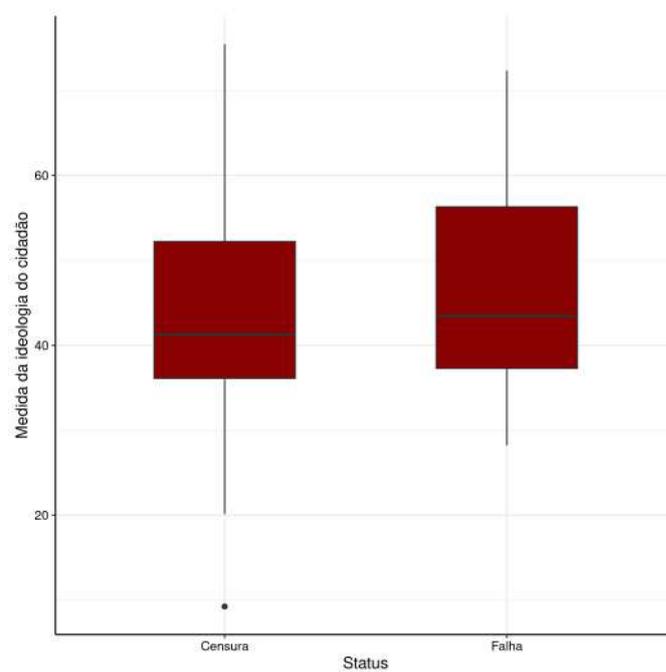


Figura 9: Gráfico *boxplot* para medida de ideologia do cidadão vs status para a política *Charter School*

Medida de ideologia do governo

Examinando a Figura 10 é possível observar que o comportamento da ideologia do governo é semelhante à ideologia do cidadão. Apresentando uma mediana bastante próxima, com uma concentração maior para os estados adotantes da política.

Mais uma vez, não há grandes diferenças na distribuição para essa variável em relação ao status.

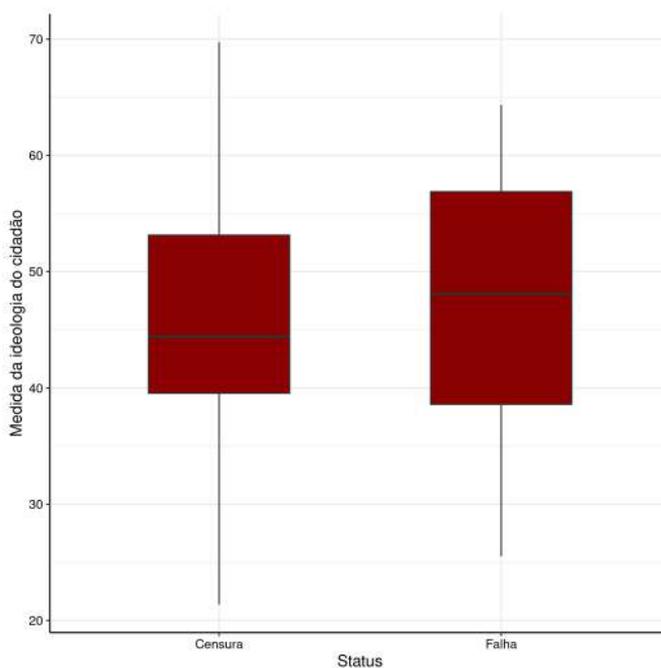


Figura 10: Gráfico *boxplot* para medida de ideologia do governo vs status para a política *Charter School*

Número de vezes que a palavra "educação" aparece na constituição estadual

Por meio da Figura 11, que as medianas estão bastante próximas e uma dispersão também bem similar. Em ambas as situações há também a presença de valores atípicos.

Assim, de maneira geral a variável número de vezes que a palavra "educação" aparece na constituição estadual apresenta um comportamento muito similar nos dois níveis da variável status.

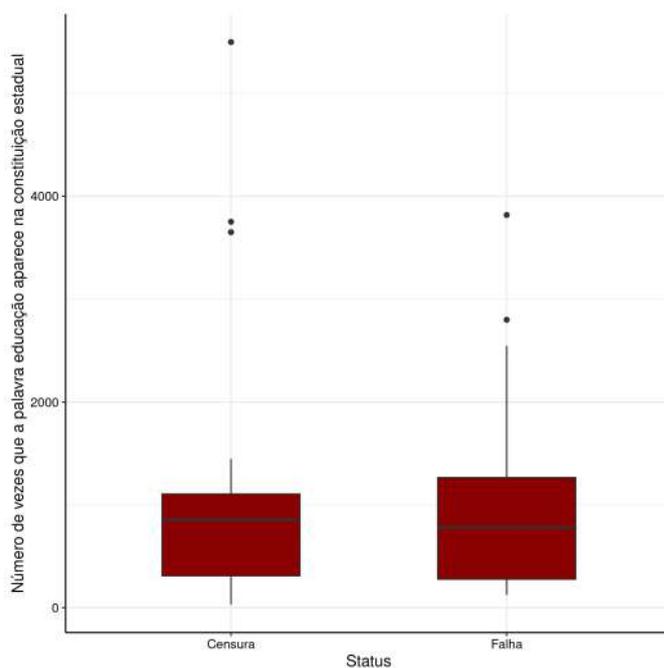


Figura 11: Gráfico *boxplot* para o número de vezes que a palavra "educação" aparece na constituição estadual vs status para a política *Charter School*

População

Examinando o *boxplot* da Figura 12, observa-se que os estados que possuem tempo de falha apresentam um tamanho populacional relativamente maior aos estados censurados.

Nota-se ainda que os estados com tempo de falha apresentem uma maior distribuição.

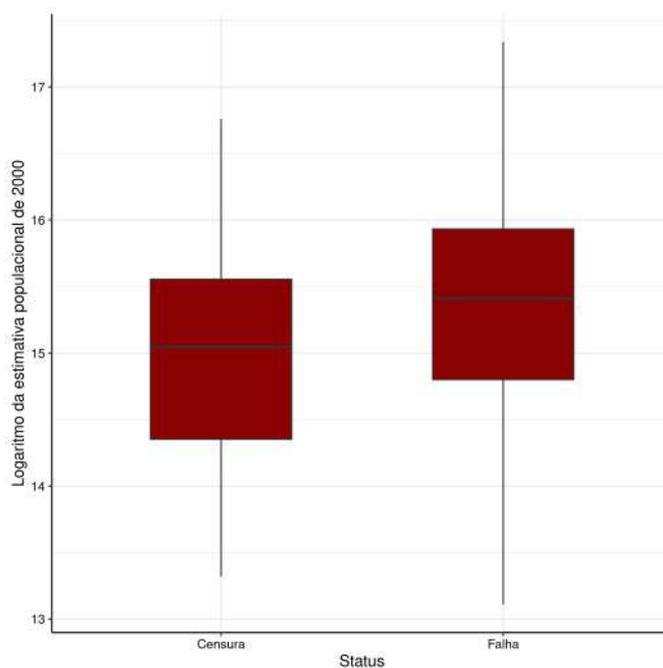


Figura 12: Gráfico *boxplot* para o logaritmo do tamanho populacional vs status para a política *Charter School*

5.1.2 *High School Exit Exams*

Tempo de falha

A política *High School Exit Exams* foi observada durante 24 anos, de 1976 até 1999, com um total de 24 adesões. Ao longo desses 24 anos, as adesões ocorreram de maneira gradual, o que explica a queda suavizada da curva de sobrevivência na Figura 13.

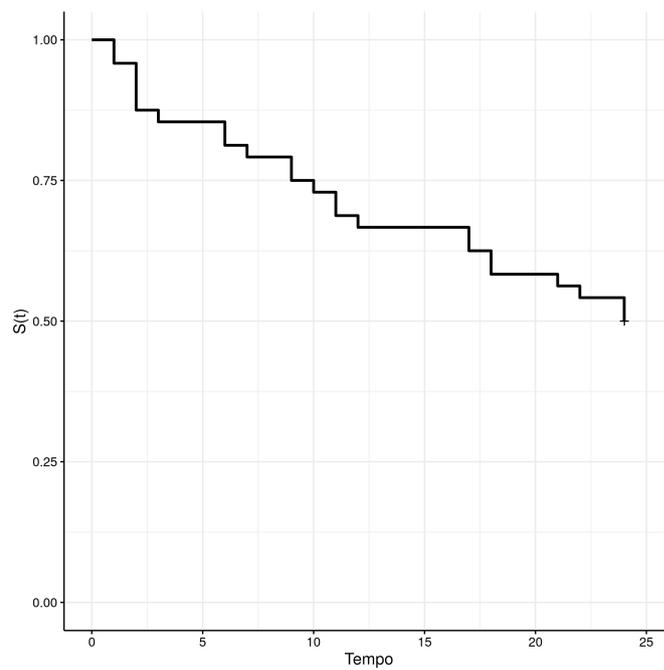


Figura 13: Gráfico da curva de sobrevivência da política *High School Exit Exams*

Status

Examinando a Figura 14 é possível verificar que exatamente metade dos estados contemplados adotaram a política.

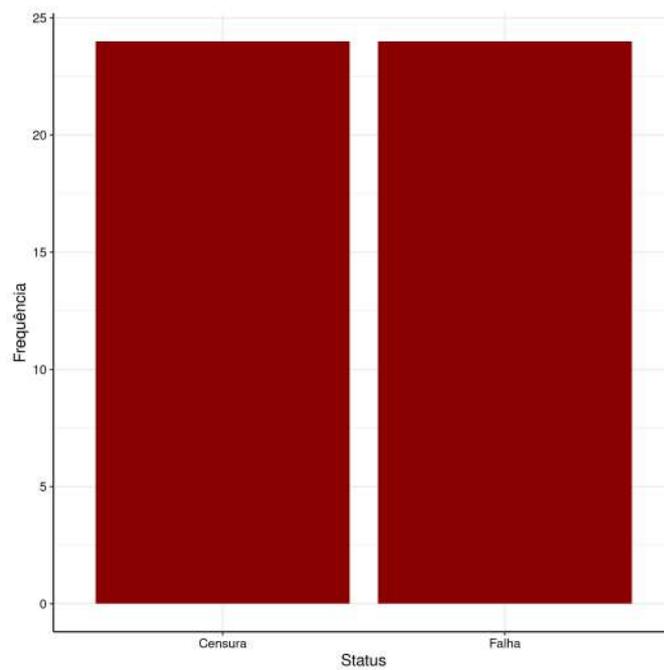


Figura 14: Gráfico de barras para status para a política *High School Exit Exams*

Composição partidária das câmaras

De maneira semelhante à política anterior, os estados Democratas são a maioria em relação a adoção política *High School Exit Exams*. No entanto, destaca-se que 17 dos 24 estados, mais de 70%, que adotaram o programa são classificados como Democratas. Enquanto somente 2 Republicanos foram favoráveis a adesão.

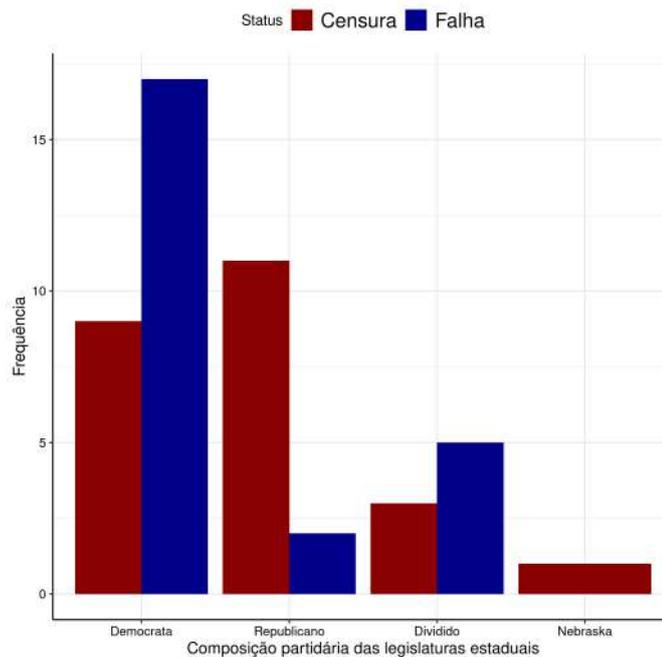


Figura 15: Gráfico de barras para composição partidária das câmaras vs status para a política *High School Exit Exams*

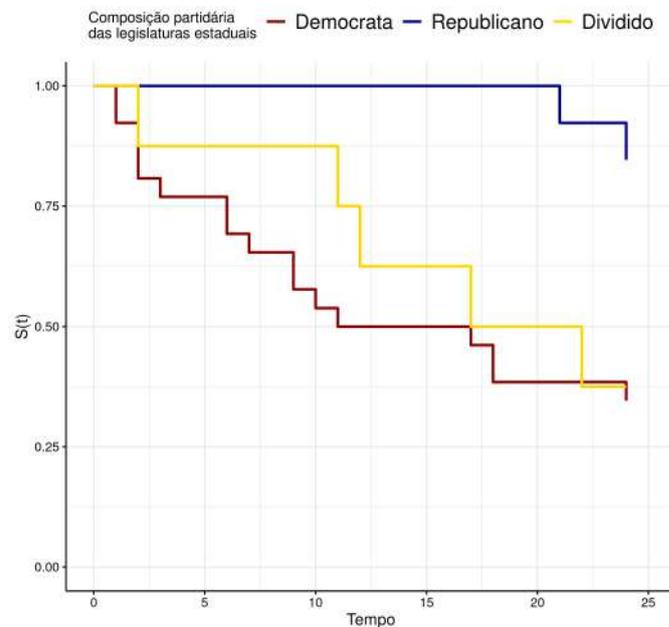
Diferentemente da política *Charter School*, parece existir uma diferença significativa na probabilidade de sobrevivência para cada nível da variável composição partidária das câmaras legislativas para a política *High School Exit Exams*. Essa diferença é bastante evidente devido a notável diferença no comportamento das curvas. Os estados Republicanos apresentam a maior probabilidade de sobrevivência ao longo dos 25 anos observados, seguido pelos estados sem maioria das câmaras e por fim pelos estados Democratas.

A probabilidade de sobrevivência para os estados Democratas é semelhante aos estados sem maioria partidária no último ano, porém no geral ao longo dos 25 anos a probabilidade de sobrevivência dos estados Democratas é menor.

$$\begin{cases} H_0 : \text{Não existe diferença entre as curvas de sobrevivência} \\ H_1 : \text{Existe diferença entre as curvas de sobrevivência} \end{cases}$$

Tabela 2: Resultados do teste *logrank* para a política *High School Exit Exams*

Estatística do teste	Graus de liberdade	P-valor
9.254576	2	0.00979

Figura 16: Gráfico da curva de sobrevivência da composição partidária das câmaras legislativas para a política *High School Exit Exams*

Dessa vez, como as curvas de são quase proporcionais foi realizado o teste de *logrank* para verificar a diferença entre as curvas. Como esperado, ao nível de significância de 5%, o teste rejeitou a hipótese nula de não diferença entre as curvas de sobrevivência.

Profissionalismo legislativo

Examinando o gráfico da Figura 17, observa-se que os estados com um maior profissionalismo legislativo são aqueles que adotaram a política.

No entanto, nota-se que não há uma diferença significativa na distribuição dessa variável em relação ao status.

Por fim, note também que os estados com tempo de falha apresentam também um número maior de valores atípicos (3) e uma maior dispersão.

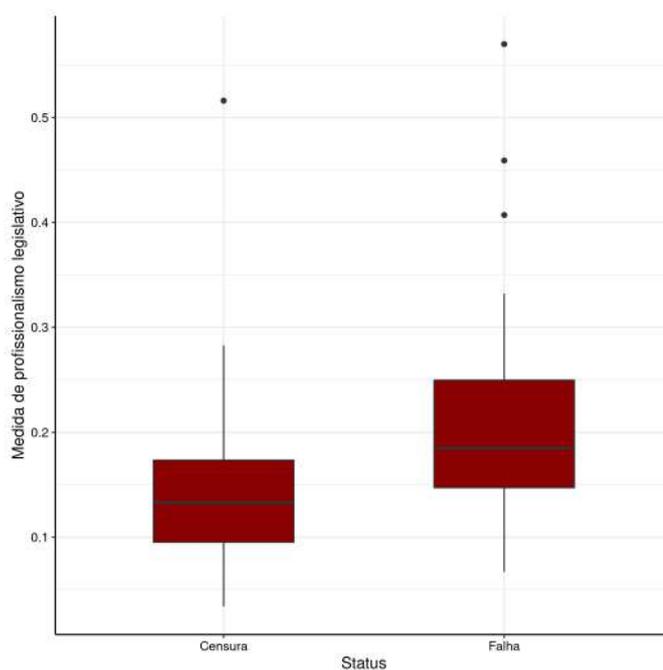


Figura 17: Gráfico *boxplot* para medida de profissionalismo legislativo vs status para a política *High School Exit Exams*

Medida de ideologia do cidadão

A partir da Figura 18, é possível notar que existe uma diferença entre as medianas em função do status, apesar de uma amplitude semelhante. Os estados que não adotaram a política apresentam um valor mediano igual a 49.1, enquanto os adotantes apresentam um igual a 38.5.

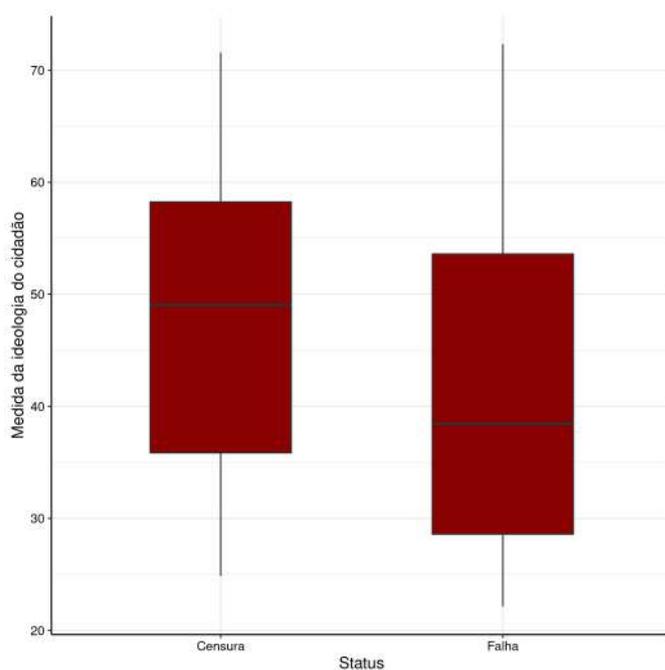


Figura 18: Gráfico *boxplot* para medida de ideologia do cidadão vs status para a política *High School Exit Exams*

Medida de ideologia do governo

Nota-se na Figura 19 que existe uma diferença considerável na medida de ideologia do governo, em relação ao status. Essa variável apresenta um valor significativamente maior para os estados que adotaram a política (57.2), mesmo exibindo três *outliers*.

Mais especificamente, 50% das observações de tempo de censura encontram-se com uma medida menor que 39.9. Enquanto que a mediana para os estados adotantes é igual a 57.2.

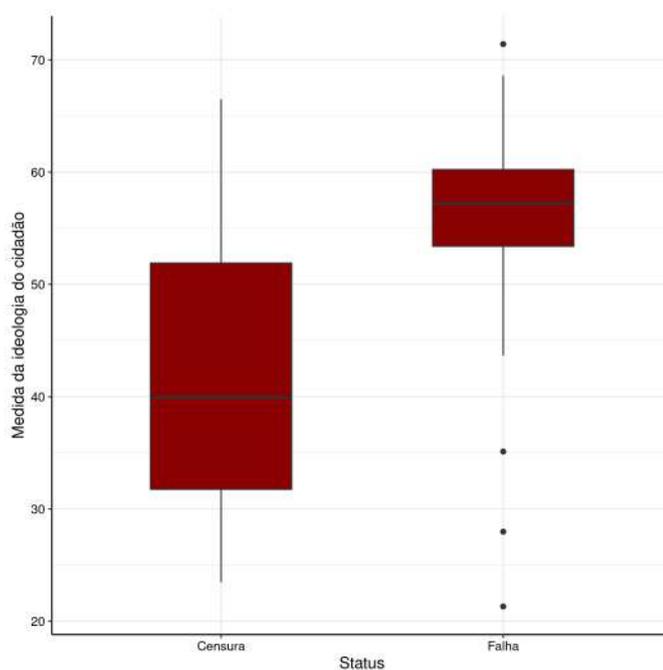


Figura 19: Gráfico *boxplot* para medida de ideologia do governo vs status para a política *High School Exit Exams*

Número de vezes que a palavra "educação" aparece na constituição estadual

Analisando o *boxplot* da Figura 20, é evidente existir pouca diferença no número de palavras "educação" aparece nas constituições estaduais em função do status. Mesmo a variabilidade dos estados censurados ser ligeiramente maior.

Finalmente, destaca-se também que em ambas as situações há a presença de três valores extremos.

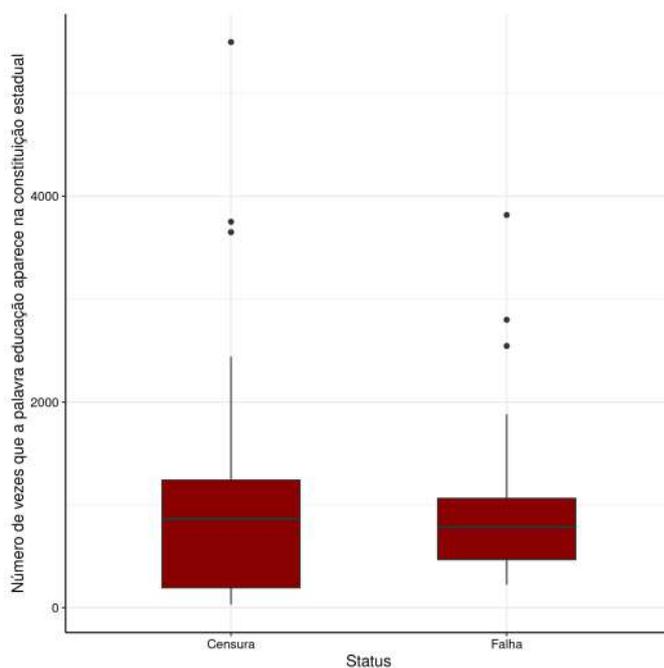


Figura 20: Gráfico *boxplot* para o número de vezes que a palavra "educação" aparece na constituição estadual vs status para a política *High School Exit Exams*

População

Nota-se na Figura 21, um comportamento distinto entre as observações com tempo de falha e tempo de censura. Os estados que adotaram a política *High School Exit Exams* apresentam, de maneira geral, um maior tamanho populacional.

Observa-se ainda que, a presença de dois valores atípicos nos estados com tempo de falha.

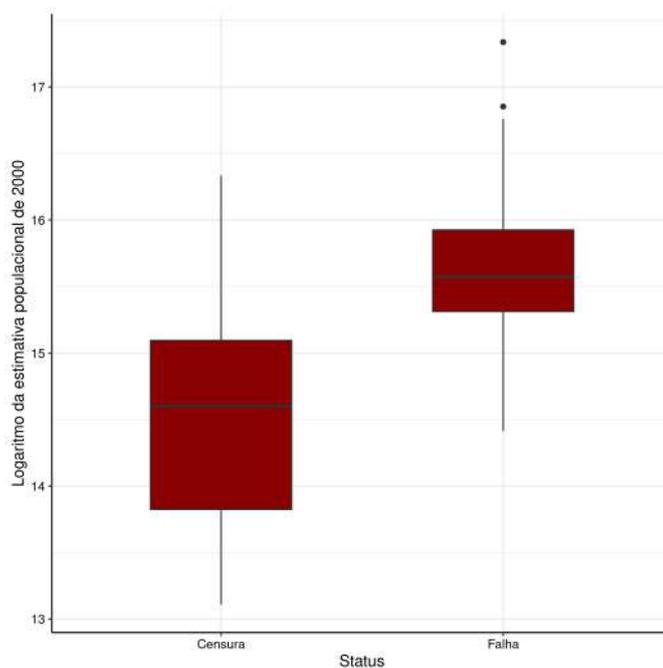


Figura 21: Gráfico *boxplot* para o logaritmo do tamanho populacional vs status para a política *High School Exit Exams*

5.1.3 *School Choice*

Tempo de falha

Considerando a Figura 22, é notável a curva de sobrevivência pouco acentuada da política *School Choice*, consequência do relativo baixo número de adoções.

Ao fim dos seis anos de observação da política, a probabilidade do estado não adotar a política é aproximadamente 67%. Vale a pena destacar por fim, que nos últimos três anos investigados houve a grande maioria das adoções, totalizando 11 falhas.

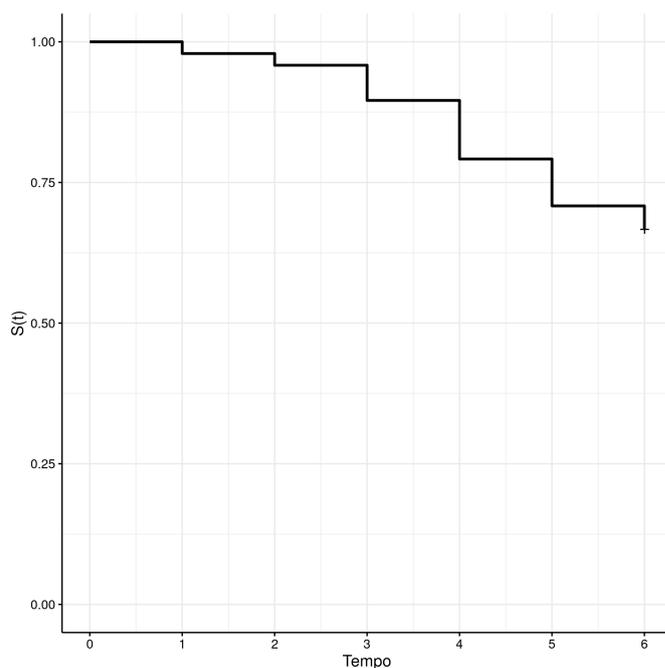


Figura 22: Gráfico da curva de sobrevivência da política *School Choice*

Status

Ao observar o gráfico de barras da Figura 23 é evidente que a política *School Choice* possui o menor número de adesões, se comparado com as outras duas políticas.

Dos 48 estados, somente 16 adotaram essa política. Em termos percentuais, um terço dos estados exibem tempo de falha.

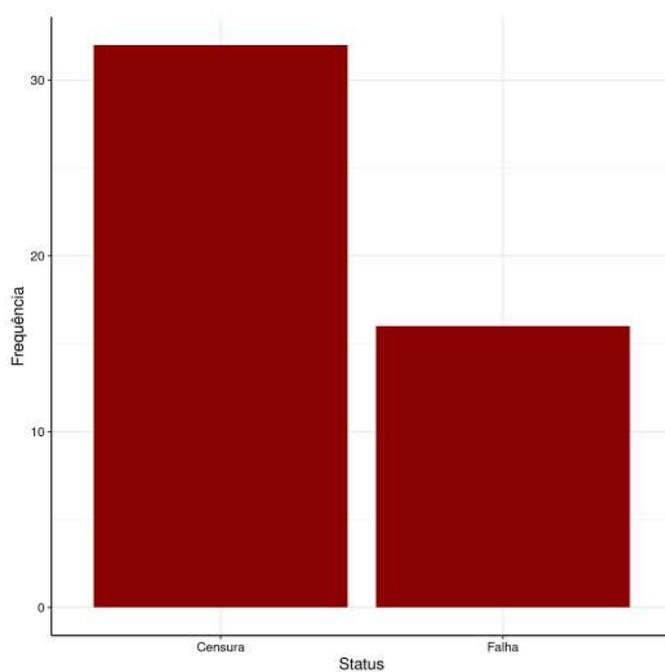


Figura 23: Gráfico de barras para status para a política *School Choice*

Composição partidária das câmaras

De maneira as demais políticas observadas, os estados classificados como Democratas são os que mais aderiram ao programa. Mais especificamente, exatamente 50% dos estados que adotaram a política possuem maioria Democrata nas câmaras.

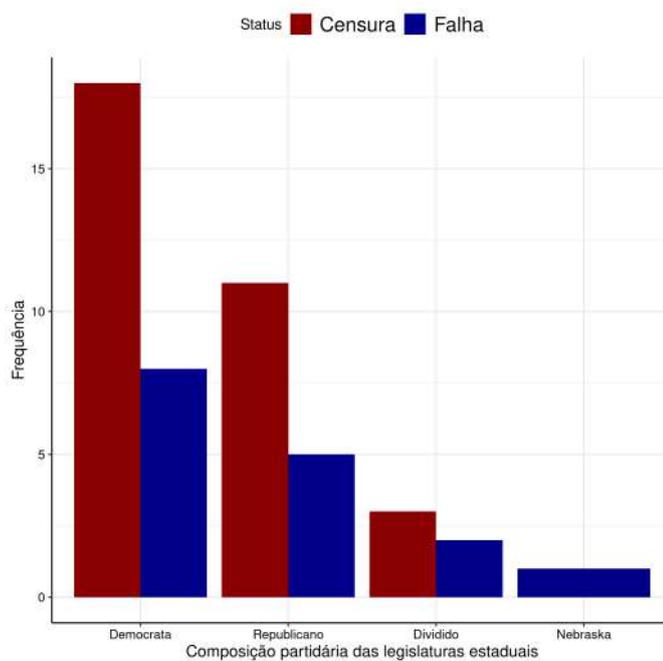


Figura 24: Gráfico de barras para composição partidária das câmaras vs status para a política *School Choice*

Ao examinar as curvas de sobrevivência na Figura 24, não parece haver uma diferença significativa. Essas curvas aparentam exibir um comportamento bastante similar.

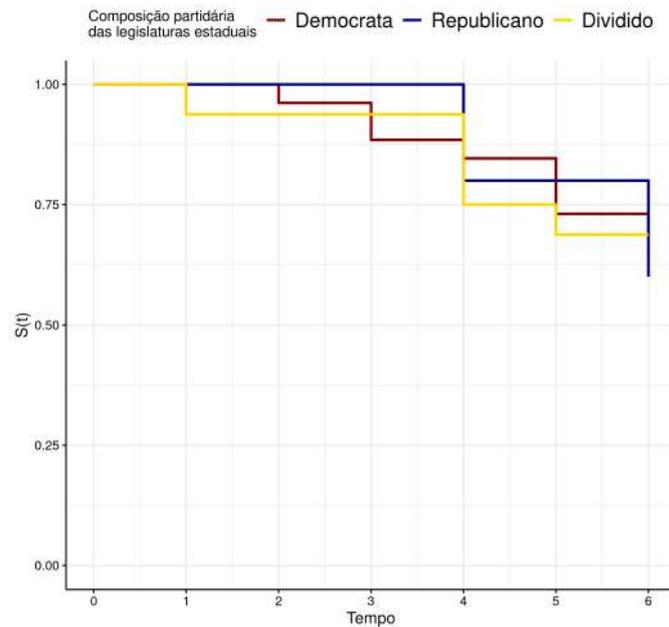


Figura 25: Gráfico da curva de sobrevivência da composição partidária das câmaras legislativas para a política *School Choice*

$$\begin{cases} H_0 : \text{Não existe diferença entre as curvas de sobrevivência} \\ H_1 : \text{Existe diferença entre as curvas de sobrevivência} \end{cases}$$

Mais uma vez, será realizado o teste similar à Wilcoxon devido as curvas de sobrevivência não serem proporcionais. Assim, ao nível de significância de 5%, é rejeitada a hipótese de não diferença das curvas.

Tabela 3: Resultados do teste similar à Wilcoxon para a política *School Choice*

Estatística do teste	Graus de liberdade	P-valor
0.0507537	2	0.975

Profissionalismo legislativo

Segundo o gráfico da Figura 26, nota-se que os estados com maior profissionalismo legislativo são aqueles que aderiram à política *School Choice*. Além do mais, verifica-se que parece haver uma diferença considerável entre os níveis da variável status.

Finalmente, destaca-se que a dispersão da medida é consideravelmente maior para os estados adotantes.

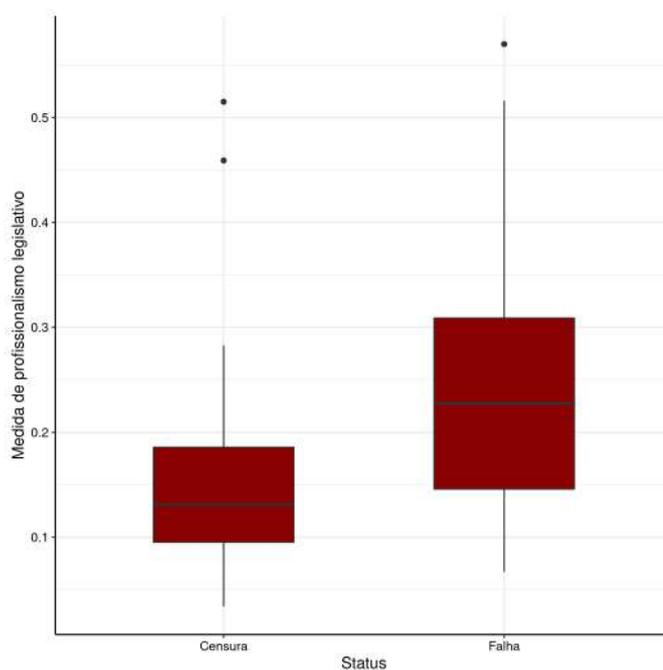


Figura 26: Gráfico *boxplot* para medida de profissionalismo legislativo vs status para a política *School Choice*

Medida de ideologia do cidadão

A partir da Figura 27, destaca-se haver pouca diferença entre os estados adotantes e não adotantes. Tanto em relação a mediana como em relação à amplitude das caixas.

A principal diferença entre os níveis da variável status é a presença de valores mais distantes dos quartis nas observações com tempo de falha.

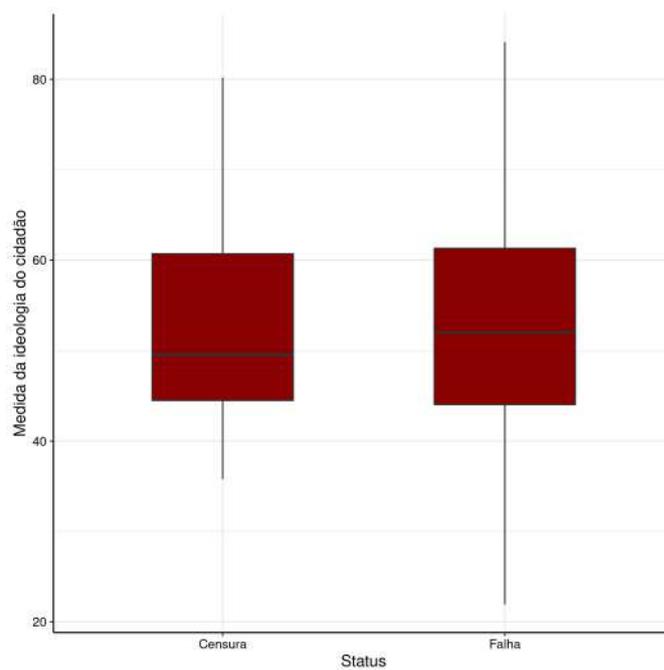


Figura 27: Gráfico *boxplot* para medida de ideologia do cidadão vs status para a política *School Choice*

Medida de ideologia do governo

Ao examinar a Figura 28, destaca-se que apesar da dispersão, do primeiro quartil e do terceiro quartil apresentarem valores relativamente próximos a mediana entre os estados adotantes e não adotantes é consideravelmente diferente.

Mais especificamente, a mediana das observações com tempo de falha é 49.3 e a mediana dos estados que não adotaram a política *School Choice* é 57.1.

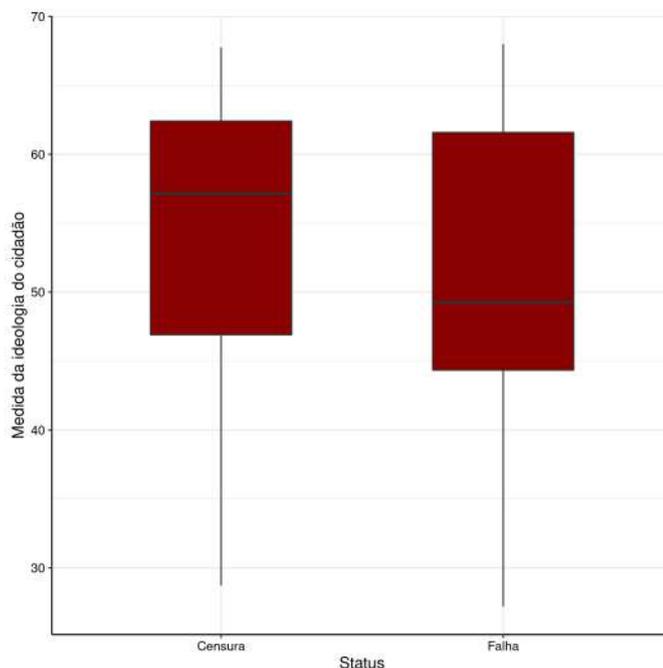


Figura 28: Gráfico *boxplot* para medida de ideologia do governo vs status para a política *School Choice*

Número de vezes que a palavra "educação" aparece na constituição estadual

Nota-se na Figura 29, que não parece haver uma diferença expressiva na distribuição na presente variável. A mediana nos dois níveis do status está relativamente próxima, 863 para os estados censurados e 786 para os governos estaduais que aderiram a política.

A dispersão dos estados censurados parece ser relativamente maior. Vale ressaltar, por fim, a presença de observações bastante acima do geral em ambos os níveis da variável status.

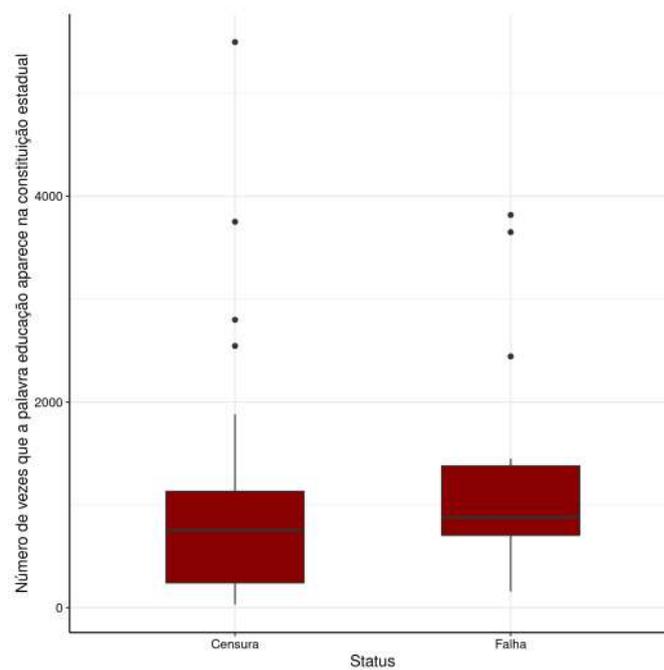


Figura 29: Gráfico *boxplot* para o número de vezes que a palavra "educação" aparece na constituição estadual vs status para a política *School Choice*

População

Analisando o *boxplot* da Figura 30, nota-se que a mediana do logaritmo da estimativa populacional é bastante próxima, 15.1 para observações censuradas e 15.4 para estados com tempo de falha, apesar da amplitude dos estados que não adotaram a política ser significativamente maior.

Destaca-se a diferença na dispersão da distribuição nos níveis da variável status.

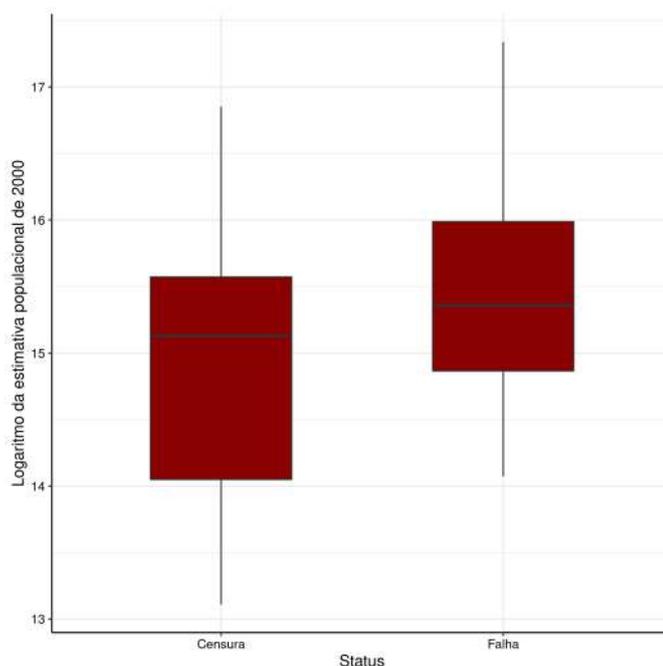


Figura 30: Gráfico *boxplot* para o logaritmo do tamanho populacional vs status para a política *School Choice*

5.2 Modelagem

5.2.1 Seleção da distribuição de probabilidade

O primeiro passo para ajustar um modelo de regressão é encontrar uma distribuição de probabilidade que especifique a variável resposta. Como a distribuição Weibull e a distribuição Log-logística foram os modelos probabilísticos escolhidos por serem bastante flexíveis e com ampla aplicabilidade.

Assim, foi feito a curva de sobrevivência para ambas as distribuições e a comparação com Kaplan-Meier, com o objetivo de investigar qual a distribuição mais adequada para os dados. Além disso, foram calculados os critérios de seleção de modelos como descrito na seção 3.10.

Charter School

Considerando a Figura 31, nota-se que parece não haver diferenças significativas entre as curvas de sobrevivência a partir da análise gráfica. Uma vez que as curvas estão bastante próximas, quase sobrepostas.

A partir dos critérios de informação na Tabela 4, observa-se que a Log-logística obteve resultados ligeiramente melhores.

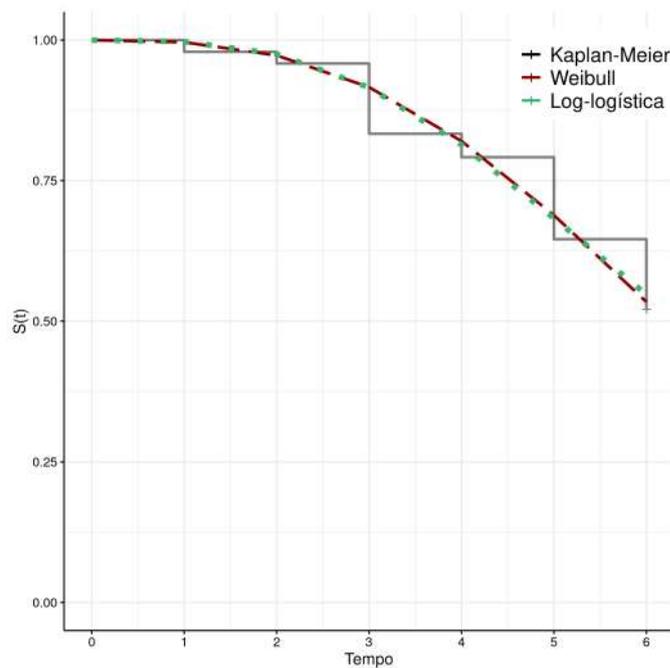


Figura 31: Comparação entre Weibull e Log-logística para a política *Charter School*

Tabela 4: Medidas de informação para a política *School Choice*

Distribuição	AIC	AICc	BIC
Log-logística	115.4721	115.7388	119.2145
Weibull	115.5304	115.7971	119.2728

Dessa forma, foi selecionada a distribuição Log-logística para descrever o tempo de adesão. Embora a interpretação gráfica e dos critérios estejam bastante próximas.

Apesar disso, como será descrito nas próximas subseções, a distribuição Weibull obteve resultados mais apropriados para modelar o tempo de adesão das demais políticas. Assim, como não há uma diferença significativa entre as distribuições para a política *Charter School* foi decidido por escolher a Weibull, pois assim a nova medida de inovação proposta será construída com base em um somente um modelo probabilístico.

High School Exit Exams

Ao examinar o gráfico da Figura 32 observa-se que as curvas estão bastante próximas mais uma vez, com as curvas se sobrepondo em quase toda a curva de sobrevivência de Kaplan-Meier. Assim, a partir da análise gráfica não há grandes diferenças entre as distribuições.

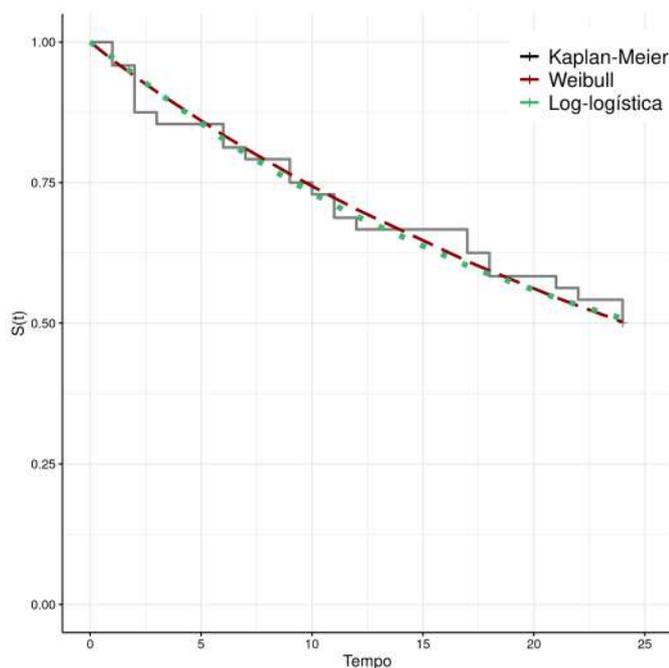


Figura 32: Comparação entre Weibull e Log-logística para a política *High School Exit Exams*

Considerando os valores dos critérios na Tabela 5, verifica-se que a distribuição Weibull tem resultados melhores. Apesar de, mais uma vez, essa diferença ser consideravelmente baixa.

Tabela 5: Medidas de informação para a política *High School Exit Exams*

Distribuição	AIC	AICc	BIC
Log-logística	222.3044	222.5711	226.0468
Weibull	222.1039	222.3705	225.8463

Então, embora as interpretações e resultados estejam semelhantes, foi selecionada a distribuição Weibull por apresentar valores dos critérios mais baixos.

School Choice

Nota-se na Figura 33 que, assim como nas demais políticas, as curvas de sobrevivência de ambas as distribuições estão se sobrepondo em quase todo o momento. Assim, ambos os modelos de probabilidade são candidatos adequados a ajustar o tempo de adesão.

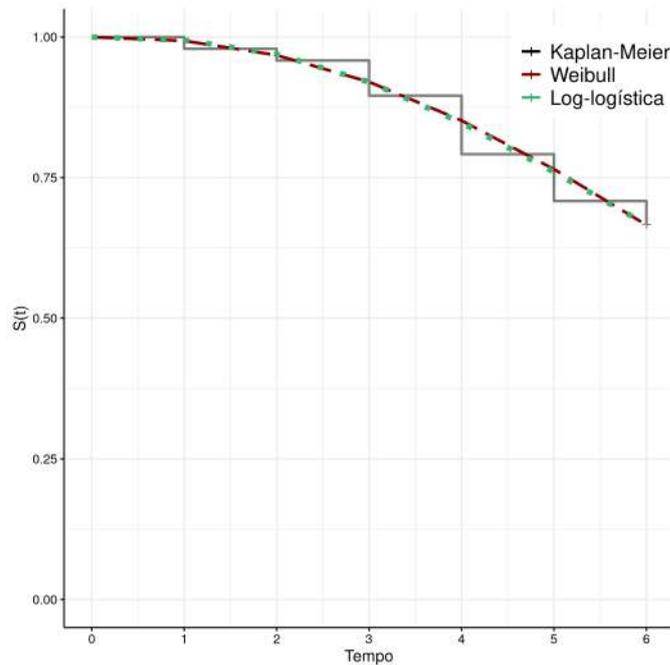


Figura 33: Comparação entre Weibull e Log-logística para a política *School Choice*

A partir dos critérios de informação na Tabela 6 a Weibull obteve valores melhores em todas as medidas. Portanto, a distribuição escolhida para modelar os dados é a Weibull, visto que graficamente os resultados são bem próximos e pelos critérios de informação é a que teve os melhores resultados.

Tabela 6: Medidas de informação para a política *School Choice*

Distribuição	AIC	AICc	BIC
Log-logística	140.8787	141.1454	144.6211
Weibull	139.5123	139.7790	143.2547

5.2.2 Seleção das variáveis explicativas

A escolha das variáveis explicativas é um processo importante, pois a partir dessas variáveis é possível identificar quais são as principais fontes de influência na resposta do estudo. Além disso a presença ou não de determinadas variáveis podem influenciar no ajuste dos resíduos modelo, assim como na interpretação geral.

A seleção das variáveis explicativas foi feita de maneira manual, sem a utilização de rotinas automatizadas ou algoritmos computacionais. Assim, a estratégia utilizada para a construção do modelo foi a *Forward*, no qual se inicia avaliando as variáveis independentes de maneira individual ao nível de significância escolhido de 10%. Em seguida, as variáveis estatisticamente significantes no passo anterior são ajustadas conjuntamente, pois na presença de certas covariáveis, outras podem deixar de ser significantes. Ao fim

dessa etapa, somente as variáveis que atingiram significância permanecem no modelo.

Então seguindo os procedimentos do método *textitForward* são realizadas as demais etapas, removendo e inserindo variáveis com o objetivo de confirmar a significância dos fatores até chegar ao modelo final. A permanência ou não das variáveis foi decidida a partir dos resultados de testes de hipótese seguindo a distribuição T-Student com $n - (p+1)$ graus de liberdade, sendo n o número de estados e p a quantidade de variáveis no modelo. As hipóteses do teste são:

$$\begin{cases} H_0 : \beta_k = 0 \\ H_1 : \beta_k \neq 0 \end{cases}$$

A seguir será exibido os resultados para os modelos individuais, com somente uma variável explicativa, e para o modelo final.

Charter School

Nota-se a partir da Tabela 7 que individualmente somente a variável profissionalismo legislativo é estatisticamente significativa. Mesmo após a realização das etapas do processo de seleção, apenas essa variável foi incluída no modelo final conforme é exibido na Tabela 8.

Tabela 7: Coeficientes estimados, erro padrão, estatística do teste e p-valor dos modelos contendo uma variável explicativa para política *Charter School*

Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão	Estatística do teste	P-valor
$\beta_{\text{composição partidária Republicano}}$	0.135	0.171	0.79	0.43
$\beta_{\text{composição partidária Dividido}}$	0.120	0.190	0.63	0.53
$\beta_{\text{profissionalismo legislativo}}$	-1.157	0.584	-1.98	0.048
$\beta_{\text{ideologia do cidadão}}$	-0.00574	0.00546	-1.05	0.29
$\beta_{\text{ideologia do governo}}$	-0.000864	0.006377	-0.14	0.89
$\beta_{\text{palavra educação}}$	$-1.44 \cdot 10^{-5}$	$6.12 \cdot 10^{-5}$	-0.23	0.81
$\beta_{\text{logaritmo(população)}}$	-0.1066	0.0812	-1.31	0.1892

Tabela 8: Coeficientes estimados, erro padrão, estatística do teste e p-valor do modelo final para a política *Charter School*

Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão	Estatística do teste	P-valor
β_0	2.163	0.153	14.15	$2 \cdot 10^{-16}$
$\beta_{\text{profissionalismo legislativo}}$	-1.157	0.584	-1.98	0.048
log(scale)	-1.063	0.190	-5.59	$2.2 \cdot 10^{-8}$

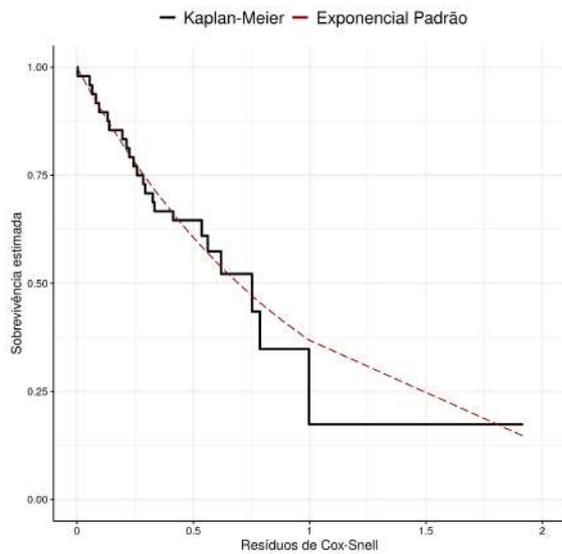


Figura 34: Resíduo de Cox-Snell

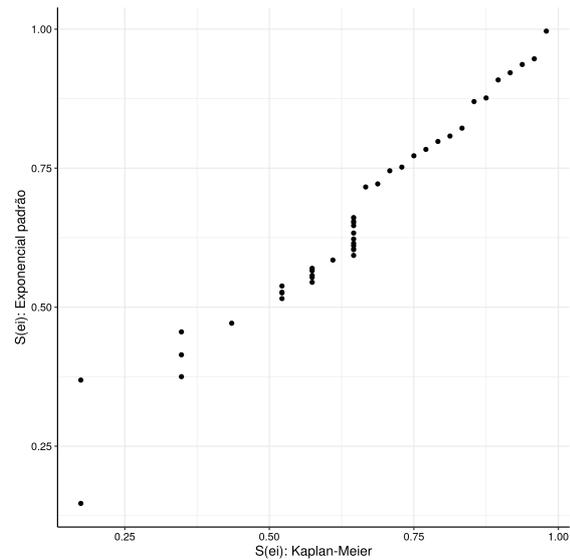


Figura 35: Curva de sobrevivência estimada

Destaca-se que em função do coeficiente negativo da estimativa, a medida que aumenta o profissionalismo legislativo de um estado, diminui assim a sua probabilidade de sobrevivência.

Por fim, para realizar a validação do modelo de regressão e dos resultados é preciso verificar a adequação do modelo ajustado por meio da análise de resíduos.

Considerando a Figura 34, o ajuste global do modelo parece estar em ordem, pois o resíduo está próxima a uma distribuição exponencial padrão.

Ademais, ao examinar a Figura 35 está próximo a uma reta de inclinação 1, apesar das evidentes distorções.

High School Exit Exams

Ao analisar a Tabela 9, nota-se que individualmente as variáveis que apresentam significância estatística, ao nível de 10%, são: composição partidária, ideologia do cidadão, e o tamanho populacional.

Entretanto, quando ajustadas conjuntamente e após toda os passos da estratégia de seleção, a composição partidária perde a significância estatística e as variáveis ideologia do cidadão e número de vezes que a palavra "educação" aparece na constituição passam a ser significativas. Constituindo assim o modelo de regressão final.

Por fim, destaca-se os coeficientes estimados. Logo, $\beta_{\logaritmo(população)}$, $\beta_{ideologia\ do\ governo}$ têm valor negativo o que significa que quanto maior o valor dessas variáveis menor será a probabilidade de sobrevivência, ou de não aderir.

Além disso, $\beta_{ideologia\ do\ cidadão}$ e $\beta_{palavra\ educação}$ possuem estimativa positiva, por-

tanto quanto maior o valor dessas variáveis, maior será a probabilidade de sobrevivência.

Tabela 9: Coeficientes estimados, erro padrão, estatística do teste e p-valor dos modelos contendo uma variável explicativa para política *High School Exit Exams*

Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão	Estatística do teste	P-valor
$\beta_{\text{composição partidária Republicano}}$	1.9229	0.7823	2.46	0.014
$\beta_{\text{composição partidária Dividido}}$	0.23	0.49922	0.48	0.628
$\beta_{\text{profissionalismo legislativo}}$	-2.2319	1.4498	-1.54	0.12
$\beta_{\text{ideologia do cidadão}}$	0.02434	0.01545	1.58	0.11522
$\beta_{\text{ideologia do governo}}$	-0.0534	0.0185	-2.89	0.0038
$\beta_{\text{palavra educação}}$	0.00019	0.000189	0.63	0.53
$\beta_{\text{logaritmo(população)}}$	-0.7197	0.2320	-3.10	0.019

Tabela 10: Coeficientes estimados, erro padrão, estatística do teste e p-valor do modelo final para a política *High School Exit Exams*

Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão	Estatística do teste	P-valor
β_0	14.210313	3.731043	3.81	0.00014
$\beta_{\text{logaritmo(população)}}$	-0.688516	0.245079	-2.81	0.00496
$\beta_{\text{ideologia do cidadão}}$	0.038570	0.012811	3.01	0.00261
$\beta_{\text{ideologia do governo}}$	-0.048083	0.017875	-2.69	0.00715
$\beta_{\text{palavra educação}}$	0.000398	0.000201	1.98	0.04809
log(scale)	-0.243201	0.171056	-1.42	0.15509

Quanto a adequação do modelo, nota-se que o modelo está bem ajustado. O modelo aparenta estar bem adequado globalmente, dado que a curva é semelhante à uma exponencial padrão. Além de a Figura 37 apresentar um comportamento próximo a uma reta, porém com um razoável desvio.

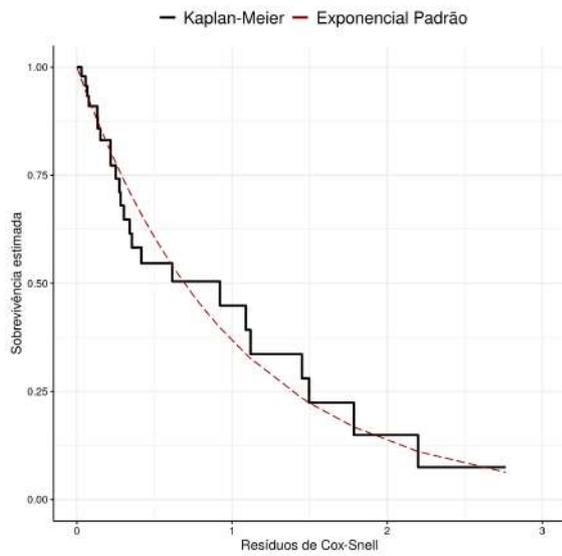


Figura 36: Resíduo de Cox-Snell

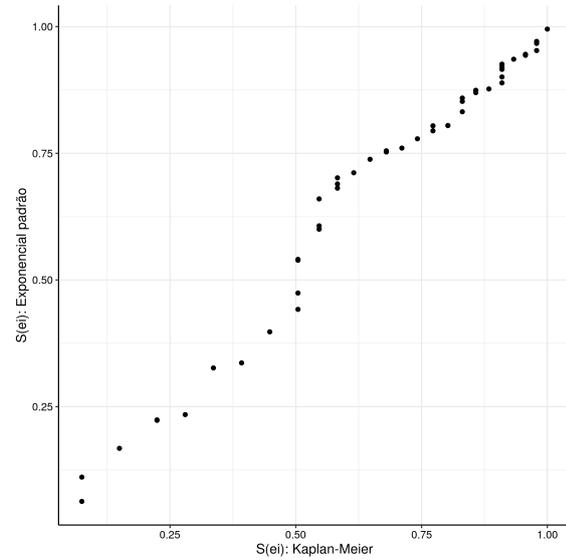


Figura 37: Curva de sobrevivência estimada

School Choice

De maneira semelhante à política *Charter School* a única variável estatisticamente significativa no modelo simples é a medida do profissionalismo legislativo, ao nível de 10%. E de novo, mesmo aplicando o procedimento *Forward* o modelo final possui apenas essa variável, como é possível verificar na Tabela 12.

Como antes, o coeficiente da estimativa é negativo. Portanto, conforme aumenta o profissionalismo legislativo aumenta, menor é a probabilidade de sobrevivência. E conseqüentemente, maior é a probabilidade do estado aderir ao programa político.

Tabela 11: Coeficientes estimados, erro padrão, estatística do teste e p-valor dos modelos contendo uma variável explicativa para política *School Choice*

Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão	Estatística do teste	P-valor
$\beta_{\text{composição partidária Republicano}}$	-0.0929	0.3383	-0.27	0.78358
$\beta_{\text{composição partidária Dividido}}$	-0.0260	0.2434	-0.11	0.91486
$\beta_{\text{profissionalismo legislativo}}$	-1.338	0.698	-1.92	0.05530
$\beta_{\text{ideologia do cidadão}}$	0.000451	0.009047	0.05	0.9602
$\beta_{\text{ideologia do governo}}$	0.00798	0.01005	0.79	0.42729
$\beta_{\text{palavra educação}}$	2.163	0.153	14.15	0.42729
$\beta_{\text{logaritmo(população)}}$	-0.149	0.112	-1.33	0.18499

Tabela 12: Coeficientes estimados, erro padrão, estatística do teste e p-valor do modelo final para a política *School Choice*

Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão	Estatística do teste	P-valor
β_0	2.455	0.252	9.76	$2 \cdot 10^{-16}$
$\beta_{\text{profissionalismo legislativo}}$	-1.338	0.698	-1.92	0.05530
log(scale)	-0.845	0.237	-3.56	0.00037

Ao examinar as Figuras 38 e 39, nota-se que no resíduo de Cox-Snell há um decaimento bem acentuado, dificultando assim o ajuste. No entanto, de maneira geral, o modelo está razoavelmente ajustado, dado que o resíduo segue uma distribuição semelhante a exponencial padrão.

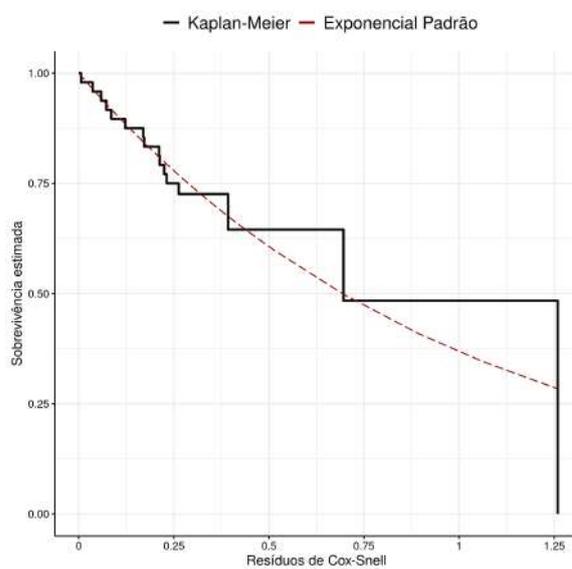


Figura 38: Resíduo de Cox-Snell

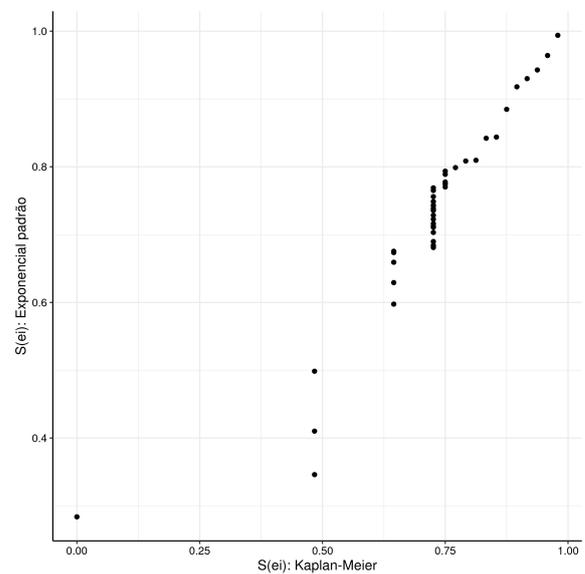


Figura 39: Curva de sobrevivência estimada

5.3 Comparação Entre as Medidas de Inovação

Após definir a distribuição Weibull como sendo a mais adequada para ajustar os dados e definir um modelo de regressão apropriado. O próximo passo para a construção da nova medida de inovação proposta é calcular riscos dos estados adotarem a política, e por fim somar esses riscos em um mesmo tempo. Então, os riscos de adesão de cada política são calculados por meio da expressão:

$$h_j(t|\mathbf{x}) = \frac{\gamma_j}{\alpha_j^{\gamma_j}} t^{\gamma_j-1}, j = 1, 2, 3. \quad (5.3.1)$$

sendo $\alpha_j = \exp(\mathbf{x}^t \boldsymbol{\beta}_j)$ o parâmetro de escala, $\gamma_j = \frac{1}{\sigma_j}$ o parâmetro de forma, $\mathbf{x}_j^t = (1, x_1, x_2, \dots, x_p)$ seja o vetor de variáveis explicativas dos estados e $\boldsymbol{\beta}_j = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p)^t$ é o vetor de coeficientes de regressão.

Calculados os riscos, a medida de inovação é dada pelo risco global expresso por:

$$h_{eg}(t|\mathbf{x}) = \sum_{j=1}^k h_j(t|\mathbf{x}). \quad (5.3.2)$$

Em relação a medida de Walker e *Adoption Rate*, é valido destacar que para todos os estados com pontuação igual significa que nenhuma das três políticas foram adotadas. Ainda, a medida de Walker terá valor igual a zero também se o estado aderiu a política no último ano observado. Essa é umas das principais críticas ao índice de inovação de Jack Walker, pois a partir desse escore não é capaz de diferenciar entre um estado censurado e um estado que adotou a política no último ano investigado.

Já o *Adoption Rate* incorpora indiretamente a noção de censura, ao penalizar o escore descontando no denominador. No entanto, essa medida ainda não leva em consideração uma série de fatores e influências relevantes.

Portanto, o novo escore de inovação proposta que envolve os riscos de adoção é claramente uma evolução em relação às medidas tradicionais. Em virtude de incorporar na medida fatores externos e internos, através das variáveis explicativas, e a informação do tempo de adoção e da censura.

Além disso, a nova medida é mais flexível no sentido de poder ser calculada em diversos períodos de tempo, e assim se torna mais simples de calcular e comparar a inovação em diferentes momentos.

Nas tabelas a seguir encontram-se os escores da nova medida de inovação proposta nos tempos 1 e 6, assim como os escores de Walker e *Adoption Rate* considerando somente as três políticas observadas. Note que nas tabelas a seguir os estados estão rankeados de

acordo com o grau de inovação para cada uma dessas medidas.

Ressalta-se ainda que o tempo 1 foi considerado por ser o primeiro ano possível de adoção, um momento importante nos estudos de difusão. Já o tempo 6, foi o escolhido pois é último ano observado das políticas Charter School e School Choice, assim julgou-se interessante avaliar o risco também nesse momento.

Ao comparar a classificação dos 10 estados mais inovadores em relação aos escores nota-se algumas diferenças. Nos escores de riscos globais considerando os dois tempos observados, destaca-se que somente 5 estados permaneceram entre os 10 mais inovadores. Esses estados são: Califórnia, Flórida, Nova York, Ohio e Texas.

Além disso, é válido destacar que no tempo 1 North Carolina aparece como o sétimo mais inovador. No entanto, no momento 6 esse é quarto estado menos inovador.

Alguns estados como Flórida, New Jersey e Califórnia se destacam, aparecendo entre os 10 mais inovadores em 3 dos 4 escores observados.

Destaca-se ainda que no artigo *State Policy Innovativeness Revisited* (2012), Boehmke e Skinner realizam uma detalhada comparação entre os escores tradicionais. E de maneira geral, não há uma grande diferença na classificação dos estados, pois em ambas as situações o momento de adesão é o principal peso para a classificação do estado.

Contrastando a nova medida com o escore de Walker nota-se a presença de seis estados distintos. Isso é esperado, uma vez que o principal peso utilizado para diferenciar os estados nesse escore é o momento de adesão. Por exemplo, Minnesota não está entre os estados mais inovadores na nova medida, porém é o mais inovador a partir da medida de Jack Walker (1969). E o terceiro mais inovador a partir do *Adoption Rate*.

Nota-se também que nas medidas tradicionais há a presença dos estados: Minnesota, Maryland, Nevada, Alabama, Arizona, Arkansas e Colorado dentre os mais inovadores. Já, ao analisar a nova medida esses estados não estão bem ranqueados.

Por fim, ao incorporar fatores internos e externo dos estados e a informação de tempo de falha e a censura, a nova medida de inovação apresenta um maior nível de interpretação. Simplificando assim a análise por meio do ranqueamento dos estados.

Tabela 13: Escores de inovação

	Estados	Walker	<i>Adoption Rate Score</i>	h(1)	h(6)
1	Alabama	0.3275	0.0833	0.0623	0.3835
2	Arizona	0.1768	0.0833	0.0259	0.4568
3	Arkansas	0.2667	0.0833	0.0295	0.3664
4	California	0.2667	0.1304	0.1311	1.6814
5	Colorado	0.3333	0.0833	0.0306	0.5061
6	Connecticut	0.0000	0.0400	0.0316	0.4567
7	Delaware	0.0667	0.0400	0.0265	0.4141
8	Florida	0.3333	0.0833	0.1968	0.8335
9	Georgia	0.4029	0.0833	0.1394	0.5491
10	Idaho	0.1333	0.0400	0.0224	0.3654
11	Illinois	0.1333	0.0833	0.0498	0.6050
12	Indiana	0.1014	0.0400	0.0502	0.4021
13	Iowa	0.2000	0.0400	0.0363	0.4708
14	Kansas	0.1333	0.0400	0.0211	0.3161
15	Kentucky	0.0000	0.0000	0.0786	0.4293
16	Louisiana	0.2551	0.0833	0.0578	0.4569
17	Maine	0.0000	0.0000	0.0243	0.3514
18	Maryland	0.3188	0.0400	0.0592	0.5169
19	Massachusetts	0.3536	0.1304	0.0480	0.7500
20	Michigan	0.2667	0.0833	0.0778	1.3556
21	Minnesota	0.7681	0.1304	0.0360	0.4732
22	Mississippi	0.2464	0.0400	0.0641	0.4476
23	Missouri	0.0000	0.0000	0.0581	0.5277
24	Montana	0.0000	0.0000	0.0179	0.3164
25	Nebraska	0.2000	0.0400	0.0270	0.4413
26	Nevada	0.3188	0.0400	0.0517	0.4677
27	New Hampshire	0.0667	0.0400	0.0284	0.2991
28	New Jersey	0.6000	0.1304	0.0708	0.7265
29	New Mexico	0.3884	0.0833	0.0237	0.3076
30	New York	0.3188	0.0400	0.1491	1.4684
31	North Carolina	0.3188	0.0833	0.1694	0.6457
32	North Dakota	0.0000	0.0000	0.0160	0.2994
33	Ohio	0.3072	0.0833	0.0956	0.7998
34	Oklahoma	0.0000	0.0000	0.0260	0.4612
35	Oregon	0.0667	0.0400	0.0238	0.4122
36	Pennsylvania	0.0000	0.0000	0.0492	0.6523
37	Rhode Island	0.0667	0.0400	0.0208	0.3613
38	South Carolina	0.2174	0.0833	0.1069	0.5269
39	South Dakota	0.0000	0.0000	0.0170	0.3074
40	Tennessee	0.2609	0.0400	0.0547	0.4213
41	Texas	0.2841	0.0833	0.1386	0.6842
42	Utah	0.0000	0.0833	0.0211	0.3161
43	Vermont	0.0000	0.0000	0.0227	0.3688
44	Virginia	0.3043	0.0400	0.0897	0.5165
45	Washington	0.2203	0.0833	0.0742	0.5677
46	West Virginia	0.0000	0.0000	0.0217	0.3661
47	Wisconsin	0.2290	0.0833	0.0638	1.1231
48	Wyoming	0.0667	0.0400	0.0169	0.3000

6 Conclusões e Considerações Finais

O presente trabalho, foi motivado pelo projeto de pesquisa "Estudos e Pesquisas para Aprimoramento das Capacidades Institucionais de Órgãos da Administração Pública para a elaboração, implementação e avaliação de políticas públicas e seus mecanismos de governança" e pelos artigos sobre inovação de Frederick Boehmke *et al.* Com o objetivo de compreender e investigar a tendência de inovação das unidades governamentais, a partir da elaboração de uma métrica comum de fácil interpretação e entendimento.

Nesse cenário, o principal objetivo desse trabalho é evoluir a metodologia dos escores de inovação proposta inicialmente por Jack Walker (1969) e seguido por Boehmke e Skinner (2012) ao incorporar na medida características interna e externa dos estados. Empregando modelagem estatística em análise de sobrevivência, por meio de um modelo de regressão paramétrico, para avaliar a influência de uma série de fatores na variável resposta, o tempo de adoção das políticas.

A nova medida de inovação proposta é um primeiro passo para a construção de escores mais complexos que levem em consideração outros fatores além da característica dos estados e municípios. Como por exemplo, inserir um grau de dependência entre os governos, conceito bem estabelecido na literatura.

A principal utilidade dos índices de inovação é classificar de forma simples e direta estados e municípios. Para assim, auxiliar órgãos, institutos e governos no momento de elaborar estratégias para difusão de programas políticos. Além disso, através da elaboração de um ranking de inovação é possível realizar uma análise comparativa entre as unidades do governo e estudar a difusão de políticas entre os governos subnacionais.

Apesar do trabalho considerar o cenário e contexto dos Estados Unidos e políticas da área educacional, os modelos de regressão paramétricos e o Escore de Risco Global proposto podem ser adaptados e aplicados em mais situações.

Comparando a nova medida proposta com os escores tradicionais, nota-se que o Escore de Riscos Globais não apresenta inconsistências na classificação dos estados. Por exemplo, estados incontestavelmente inovadores como Califórnia, estão bem ranqueados em todas as medidas de inovação. O mesmo ocorre em estados menos inovadores, exibindo assim a mesma coerência na classificação.

É válido mencionar que para construção e ajuste dos modelos apresentados foram consideradas as distribuições Weibull e Log-logística. No entanto, essa mesma proposta e metodologia pode ser feita para outros modelos de probabilidade. Em especial, pelo fato de o tempo de adoção ser discreto, distribuições de probabilidade discretizadas são também uma opção a serem consideradas, talvez até mesmo mais apropriadas.

Por fim, de maneira geral, como proposta para trabalhos futuros sugere-se utilizar uma coleção mais robusta de políticas, utilização de algoritmos de *machine learning* para ajustar vários modelos de regressão para uma coleção maior de políticas e pensar em um fator que considere a velocidade de adesão dos governos, o principal fator considerado nos escores tradicionais da literatura de inovação.

Referências

BERRY, William; FORDING, Richard; RINGQUIST, EVAN; HANSON, Russel; KLARNER, Carl. Measuring Citizen and Government Ideology in US States: A Re-appraisal.p121-127. 2011.

BOEHMKE, Frederick; SKINNER, Paul. *State Policy Innovativeness Revisited*. 2012.

COELHO, Denilson; CAVALCANTE, Pedro; TURGEON, Mathieu. Mecanismos de difusão de políticas sociais no Brasil: uma análise do Programa Saúde da Família.p.1-4. 2015.

COELHO, Denilson. Mecanismos Políticos e Institucionais da Difusão de Políticas. 2016. p.35-40.

DEARING, James; Cox, Jeffrey. *Diffusion of Innovations Theory, Principles, and Practice*. 2018. p.2-3.

GIOLO, Suely; COLOSIMO, Enrico. *Análise de Sobrevivência Aplicada*. 1ª edição. São Paulo: Edgard Blucher. 2001. 371 páginas.

LAWLESS, Jerald. *Statistical Models and Methods for Lifetime Data*. 2ª edição. New Jersey: Wiley Series in Probability and Statistics. 2002. 666 páginas.

MELLO, Márcio. *Análise da Difusão das Zonas Urbanas Especiais de Interesse Social na Agenda Urbana no Brasil*. 2021. p.16 - 21.

SANTOS, Damião. *Modelo de Regressão Log-Logístico discreto com Fração de Cura para Dados de Sobrevivência*. 2017. p.3-15.

WALKER, J.L. *The Diffusion of Innovations Among the American States*. Cambridge University Press. 1969