



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
FACULDADE DE ECONOMIA ADMINISTRAÇÃO
ATUÁRIAS E CONTABILIDADE
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA APLICADA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

Hellano Vieira de Almeida

MODELANDO E SIMULANDO O COMPORTAMENTO
DE *BLITZES* POLICIAIS RACIONAIS.

Fortaleza, Ceará

2017

Hellano Vieira de Almeida

**MODELANDO E SIMULANDO O COMPORTAMENTO
DE *BLITZES* POLICIAIS RACIONAIS.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia, da Faculdade de Economia Administração Atuárias e Contabilidade da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Economia.

Orientador: Prof. Dr. José Raimundo Carvalho

Fortaleza, Ceará

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A447m Almeida, Hellano Vieira de.
MODELANDO E SIMULANDO O COMPORTAMENTO DE BLITZES POLICIAIS RACIONAIS /
Hellano Vieira de Almeida. – 2017.
34 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Economia, Administração,
Atuária e Contabilidade, Programa de Pós-Graduação em Economia, Fortaleza, 2017.
Orientação: Prof. Dr. José Raimundo Carvalho.

1. Racionalidade. 2. Modelo de Busca. 3. Simulação. I. Título.

CDD 330

Hellano Vieira de Almeida

**MODELANDO E SIMULANDO O COMPORTAMENTO
DE *BLITZES* POLICIAIS RACIONAIS.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia, da Faculdade de Economia Administração Atuárias e Contabilidade da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Economia.

Aprovada em: __/__/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Raimundo Carvalho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Márcio Veras Corrêa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Victor Hugo de Oliveira
Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do
Ceará (IPECE)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente sou grato a Deus, por ser o único a estar comigo todos os momentos da minha vida, por ter permitido o meu ingresso no mestrado e por ter me permitido fazer ótimas amizades durante esses últimos 2 anos.

À minha esposa, Elaine Cristina, por estar sempre ao meu lado me apoiando e dando palavras de conforto nos momentos de dificuldade.

Aos meus pais, pelo amor e força que me deram durante os períodos de dificuldades, por não medirem esforços para que eu pudesse ter a melhor educação moral e escolar possível.

À Universidade Federal do Ceará (UFC), por me proporcionar esse aprendizado e pelos incentivos que me proporcionou durante estes 2 anos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo incentivo financeiro. Sem ele não seria possível a conclusão do mestrado.

Ao departamento de departamento de pós-graduação em economia (CAEN) e aos professores do CAEN, que de alguma forma contribuíram para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

Ao Prof. José Raimundo Carvalho, pela paciência e orientação nesta dissertação e pela oportunidade de ser seu orientando.

RESUMO

Apesar da grande quantidade de trabalhos científicos sobre criminalidade publicados nos últimos anos, tanto em revistas nacionais quanto internacionais, ainda não existem pesquisas suficientes e pouco se sabe sobre as características de funcionamento das blitzes policiais e dos seus processos de decisão. Nesse sentido esse trabalho se propõem a utilizar a Teoria de *Search* no desenvolvimento de um modelo de busca para o processo de decisão ótima de parada de uma blitz policial, bem como simular e comparar os resultados com dados reais. O modelo proposto foi construído de tal maneira a garantir a existência da propriedade de “reserva”. As simulações feitas a partir do modelo apresentaram resultados satisfatórios em comparação com os dados reais.

Palavras-chaves: Racionalidade. Modelo de Busca. Simulação.

ABSTRACT

Despite the great amount of scientific articles on crime that has been published in recent years, both in national and international journals, there is still insufficient investigation and little is known about the functioning characteristics of police blitzes and their decisory process. Therefore my work intends to use Search Theory in order to create a search model for the optimal decision process to stop a police blitz and to simulate and compare our results with real data. Our proposed model was constructed in such a way to guarantee the existence of the “reservation” property. The simulations induced from the model show satisfactory results in comparison with real data.

Key-words: Rationality. Search Model. Simulation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Função Valor e Preço de Reserva	16
Figura 2 – Função Valor e Salário de Reserva	18
Figura 3 – Ilustração de uma blitz policial	19
Figura 4 – Ilustração do Processo de Decisão do Agente	20
Figura 5 – Função Valor e Fluxo de Reserva	22
Figura 6 – Ilustração Aproximação da Poisson para Normal	24
Figura 7 – Histograma da razão entre os veículos apreendidos e abordados	29
Figura 8 – Comparação para veículos abordados	31
Figura 9 – Comparação para veículos apreendidos	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estatísticas Descritivas	28
Tabela 2 – Simulações	30
Tabela 3 – Estatísticas dos dados reais e simulados para o número de veículos abordados	30
Tabela 4 – Estatísticas dos dados reais e simulados para o número de veículos apreendidos	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	PROGRAMAÇÃO DINÂMICA	13
2.1	Problema Sequencial Estocástico	14
2.2	Modelos de Busca	15
2.2.1	Modelo de Busca por Menor Preço	16
2.2.2	Modelo de Busca por Emprego	17
3	UM MODELO DE BUSCA PARA BLITZES POLICIAIS	19
3.1	Modelo Poisson-Binomial-Binomial (PBB)	21
4	SOLUÇÃO VIA SIMULAÇÃO	26
4.1	Conjectura sobre os Parâmetros: λ	26
4.2	Conjectura sobre os Parâmetros: p_s e p_a	26
4.3	Conjectura sobre os Parâmetros: c	27
4.4	Simulação	27
4.4.1	Comparação com Dados Empíricos	29
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
	REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

Há algum tempo o Brasil vem sofrendo com o crime organizado, onde facções criminosas estão se espalhando por todo o território brasileiro. A disputa por região¹ entre essas facções foi o estopim para a atual crise penitenciária que está deixando a população com uma sensação de insegurança ainda maior.

Lima et al. (2016) fazem uma compilação de estatísticas criminais publicadas no 10º anuário brasileiro de segurança mostrando um comparativo entre o número de mortes violentas intencionais entre Brasil e Síria (em período de guerra) entre o período de março de 2011 á novembro de 2015, mostrando que mesmo não havendo guerra no país, o Brasil teve um maior número de vítimas.

Segundo Cerqueira et al. (2016), no Atlas da Violência do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), o Brasil apresentou no ano de 2014 o maior número de homicídios já registrado no país com uma taxa de homicídio de 29,1 por 100 mil habitantes. Houve no total de 59.627 homicídios nesse mesmo ano, o que representa mais de 10% dos homicídios registrados no mundo, colocando o Brasil como o país com o maior número absoluto de homicídios. Considerando apenas a região nordeste do Brasil, em particular o Estado do Ceará, foi registrado uma taxa de homicídio de 52,2 por 100 mil habitantes também em 2014, além disso três microrregiões do estado do Ceará apareceram entre as 20 mais violentas do país no mesmo ano. A capital cearense apresentou uma taxa de homicídio de 81,1 por 100 mil habitantes, que é a segunda maior taxa do país entre todas as microrregiões.

De acordo Lima et al. (2015), no 9º Anuário Brasileiro de Segurança Pública, houve um aumento de 16,5% nos gastos nacionais com segurança em 2014 com relação ao ano anterior. Nesse mesmo ano a participação dos gastos com segurança pública no PIB foi de 1,29%, o que está próximo de países que têm um nível de violência menor, como a França que teve uma taxa de 0,6 e uma participação dos gastos com segurança no PIB de 1,2% no mesmo período.

O fato é que a criminalidade tem crescido nos últimos anos, e o Brasil tem sérios problemas com segurança pública. Esse crescimento talvez não seja pelo pouco investimento ou pela falta dele, mas sim da ineficiência das medidas/ações de segurança já existentes. Uma dessas ações de segurança pública é o policiamento ostensivo de trânsito, conhecido popularmente como operação de blitz policial, ou apenas blitz. De acordo com código de trânsito brasileiro (CTB), o policiamento ostensivo de trânsito é uma ação exercida pelas polícias militares com o objetivo de prevenir e reprimir atos relacionados com a segurança pública e de garantir obediência às normas relativas à segurança de trânsito, garantindo a livre circulação e evitando acidentes.

As operações de blitzes se apresentam como uma medida interessante de combate e

¹ Para mais detalhes ver [Stochero \(2017\)](#)

prevenção contra a criminalidade, pois essas operações tem como principal característica o fato da população, teoricamente, não saber quando e nem o local que ocorrerá. Por exemplo, um dos caminhos para que o tráfico de drogas se espalhe por todo o território brasileiro é por meios das rodovias. Deste modo o policiamento ostensivo geral pode exercer um papel de grande importância para o combate do tráfico de drogas, além do combate a outros tipos de crimes, como roubos de veículos, porte ilegal de armas, etc.

De uma perspectiva econômica uma blitz policial pode ser pensada como uma atividade produtiva que emprega *inputs* (policiais, tempo de duração, equipamento) para produzir *outputs* (apreensão de veículos/pessoas/armas). Portanto, entender o comportamento racional das blitzes passa por entender como se dá a alocação ótima de insumos e a função de produção gerada. No entanto, o principal insumo de uma blitz é o seu tempo de duração, portanto o referencial da Teoria de *Search*, que tem como uma das principais referências [McCall \(1970\)](#), parece ser plausível como uma aproximação razoável do comportamento das blitzes.

Em um momento em que o Brasil passa por uma crise econômica, a otimização de gastos públicos é de extrema importância. Deste modo surge a necessidade de entender os fatores que contribuem para o aumento da eficiência produtiva das medidas de segurança pública. Deste modo, motiva-se a importância em se verificar a efetividade das blitzes no combate à criminalidade. Antes de propor uma abordagem econométrica para a modelagem da produtividade das blitzes, é importante o estudo do comportamento e do processo de decisão de parada de uma blitz.

Existe uma grande número de estudos econômicos na área de criminalidade. Essa série de trabalhos sobre criminalidade se iniciou na década de 60 com [Fleisher \(1963\)](#) que em seu artigo estudou o efeito do desemprego na delinquência juvenil. Mas foi com [Becker \(1968\)](#) e [Ehrlich \(1973\)](#) que as investigações econômicas do crime, de fato, começou a utilizar a teoria econômica. A criminalidade ainda é uma área de pesquisa econômica muito atual, e de fato será por muitos anos, em que pode ser abordado diferentes aspectos sobre o crime.

[Braga, Welsh e Schenell \(2015\)](#) fazem uma uma revisão sistemática e uma meta-análise dos impactos do policiamento (*disorder policing*) sobre o crime. [Cerqueira \(2012\)](#) realizou um trabalho com base nos microdados desenvolvendo um modelo multinomial *logit* para reclassificar os óbitos com causa indeterminada, como homicídios, suicídios ou acidentes. [McDonald \(2002\)](#) verificou o efeito do policiamento comunitário no controle de crimes violentos, examinando vários bancos de dados de uma amostra de 164 cidades americanas com mais de 100.000 residentes.

[Santos e Kassouf \(2008\)](#) reuniram e discutiram em um artigo estudos econômicos sobre a criminalidade realizados no Brasil. Eles apresentam as principais dificuldades, evidências e controvérsias encontradas nas pesquisas empíricas, além de listar algumas das principais bases de dados criminais disponíveis. As principais evidências encontradas empiricamente são que a desigualdade de renda e os retornos do crime parecem ser fatores de incremento da criminalidade.

Além disso, há efeitos espaciais afetando a criminalidade.

Trabalhos com ênfase nas blitzes policiais na literatura nacional pode-se citar [Lemos \(2011\)](#), que em sua monografia de especialização fez um trabalho puramente qualitativo sobre o processo do policiamento ostensivo de trânsito em Belo Horizonte durante a Copa de 2014. [Vieira \(2014\)](#) modelou o número de carros e motos apreendidos com modelos de regressão para dados de contagem inflacionados de zeros. Na literatura internacional tem o artigo de [Wheeler e Phillips \(2016\)](#) que investigaram os efeitos de intervenções policiais em regiões de grande concentração de crimes (*hot spot*), como avaliação do uso de leitores de placas automatizado em conjunto com uma abordagem de policial para reduzir a criminalidade.

Apesar da grande quantidade de trabalhos científicos sobre criminalidade publicados nos últimos anos, tanto em revistas nacionais quanto internacionais, ainda não existem pesquisas suficientes e pouco se sabe sobre as características de funcionamento das blitzes e dos seus processos de decisão.

Nesse sentido esse trabalho se propõe a utilizar a Teoria de *Search* no desenvolvimento de um modelo de busca para o processo de decisão ótima de parada de uma blitz policial, bem como simular e comparar os resultados com dados reais coletados pela Secretaria de Segurança Pública e Defesa Social do Ceará com a coordenação do professor José Raimundo Carvalho do Departamento de pós-graduação em Economia da Universidade Federal do Ceará.

Depois dessa breve introdução, no capítulo 2 é feito um breve resumo sobre a teoria de programação dinâmica em tempo discreto e modelos de *search*. No Capítulo 3 é proposto um modelo de busca para o processo de decisão ótima de parada de uma blitz. No Capítulo 4 é discutido uma solução para o modelo via simulação. E no capítulo 5 foi discutido as considerações finais e possíveis trabalhos futuros.

2 PROGRAMAÇÃO DINÂMICA

Nessa seção será apresentado um breve resumo sobre programação dinâmica e modelos de *search*¹. Programação dinâmica ou otimização dinâmica é um método de otimização matemático e computacional utilizado em diversas áreas do conhecimento (matemática, computação, economia) para resolver problemas complexos, quebrando-os em subproblemas mais simples de uma maneira recursiva.

Problemas de decisões que abrangem vários pontos no tempo muitas vezes podem ser separados de uma maneira recursiva. Se subproblemas podem ser aninhados recursivamente dentro de problemas maiores, de tal forma que os métodos de programação dinâmica são aplicáveis, então existe uma relação entre o valor do problema principal e os valores dos subproblemas e essa relação será dada pela equação de Bellman.

O problema sequencial básico da programação dinâmica é encontrar uma sequência $\{u_t\}_{t \geq 0}$ para maximizar

$$\sum_{t=0}^{\infty} \beta^t r(x_t, u_t) \quad (2.1)$$

sujeito as restrições

$$u_t \in \Gamma(x_t) \quad (2.2)$$

$$x_{t+1} = g(x_t, u_t), \quad (2.3)$$

com x_0 conhecido. Em que $\beta \in (0, 1)$ é um fator de desconto intertemporal, onde quanto menor mais o individuo valoriza o presente. A variável x_t caracteriza um estado da natureza que condiciona a decisão e u_t é a variável de escolha (controle). A restrição 2.3 é conhecida na literatura como equação de transição.

Encontrar a solução do problema acima pode ser extremamente difícil, mas a teoria da programação dinâmica tenta resolver esse problema buscando uma lei de recorrência (função política) que gera $\{u_t\}_{t \geq 0}$. A função política ótima h mapeia variável de estado x_t em u_t , tal que a sequência $\{u_t\}_{t \geq 0}$ gerada pela interação de duas funções

$$u_t = h(x_t)$$

$$x_{t+1} = g(x_t, u_t),$$

dada uma condição inicial x_0 , resolve o problema sequencial. Para encontrar a função política h será necessário conhecer a função valor $V(x)$ que expressa o valor ótimo do problema, começando de uma condição inicial arbitrária $x \in X$. Em particular, seja

$$V(x_0) = \max_{\{u_t\}_{t \geq 0}} \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t r(x_t, u_t),$$

¹ Para uma aprofundamento melhor na teoria ver [Sargent \(1987\)](#) e [Stokey, Lucas e Prescott \(1989\)](#)

onde novamente a maximização é sujeita as restrições 2.2 e 2.3, com x_0 conhecido. Se $V(x_0)$ for conhecido a função política h pode ser computada resolvendo para cada $x \in X$ o problema

$$\max_u \{r(x, u) + \beta V(\tilde{x})\} \quad (2.4)$$

em que a maximização é sujeita a restrição $\tilde{x} = g(x, u)$, com x conhecido. Então, deixa-se o problema original de achar uma sequencia de controle que maximize 2.1 para o problema de achar a função valor ótima $V(x)$ e a função h que resolve um contínuo de problemas de maximização 2.4 (um problema de máximo para cada x).

Deste modo o problema se tornou resolver, juntamente, $V(x)$ e $h(x)$, que estão ligados pela equação de Bellman

$$V(x) = \max_u \{r(x, u) + \beta V[g(x, u)]\}. \quad (2.5)$$

A existência e unicidade de uma solução para 2.5 decorre do Teorema do Ponto Fixo de Banach, que estabelece que o lado direito de 2.5 é uma contração, e para garantir que seja de fato uma contração é preciso que r seja uma função limitada e Γ seja um conjunto compacto.

A solução do problema 2.5 corresponde a função política h tal que $h(x) \in \Gamma(x)$ para todo $x \in X$ que satisfaz

$$V(x) = \{r[x, h(x)] + \beta V[g(x, u)]\}. \quad (2.6)$$

A função valor do problema 2.4 tem uma série de propriedades que são importantes que muitas vezes dependem da natureza precisa da função r e g . Algumas propriedades importantes da função valor são

1. Contínua, a continuidade da função valor decorre do Teorema do Máximo de Berge;
2. côncava, se $r(x, u)$ for estritamente côncava e $\Gamma(x)$ for convexa em $x \in X$;
3. Diferenciável, a diferenciabilidade da função valor decorre do Teorema de Benveniste e Scheinkman, que também estabelece

$$\frac{\partial V}{\partial x_i}(x_0) = \frac{\partial r}{\partial x_i}[x_0, h(x_0)]$$

Existem alguns métodos computacionais para resolver problemas de programação dinâmica, e cada um desses métodos tem como objetivo resolver o problema 2.4.

2.1 Problema Sequencial Estocástico

É possível modificar o problema 2.1 para permitir que o modelo tenha a capacidade de captar incerteza, modificando a equação de transição. O problema sequencial agora é definido com

$$\max_{u_t} \mathbb{E} \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t r(x_t, u_t) \quad (2.7)$$

sujeito as restrições

$$x_{t+1} = g(x_t, u_t, e_{t+1}), \quad (2.8)$$

com x_0 conhecido. A variável e_t é uma variável aleatória independente e identicamente distribuída com uma função de distribuição acumulada, $F(e) = \mathbb{P}(e_t \leq e)$, invariante no tempo. Então a incerteza é incorporada no modelo assumindo que x_t segue uma equação em diferença aleatória.

Então a equação de Bellman para encontra a política ótima, $u_t = h(x_t)$, que resolve o problema (2.7) sujeito a restrição (2.8) se torna

$$V(x) = \max_u \{r(x, u) + \beta \mathbb{E}[V(g(x, u, e))]\}, \quad (2.9)$$

com x conhecido. Assumindo que r é contínua e limitada, g é contínua e que o conjunto Γ seja compacto e contínuo, então existe solução do problema (2.9) e além disso a função valor é contínua e limitada.

A solução $V(x)$ da equação (2.9) pode ser computada, começando de qualquer valor inicial limitado e contínuo V_0 , por um procedimento de interação dado por

$$V_{j+1}(x) = \max_u \{r(x, u) + \beta \mathbb{E}[V_j(g(x, u, e))]\}. \quad (2.10)$$

2.2 Modelos de Busca

Problemas sequencias em geral permitem que a variável de controle tome qualquer valor em um conjunto contínuo de valores, mas existe alguns problemas de otimização dinâmica que exigem que o agente tome uma decisão entre duas ações, aceitar ou rejeitar uma oferta.

Em problemas desse tipo a política ótima é uma sequência de zeros e um, o que tem uma certa semelhança com problemas de *stopping rule*, que diz respeito ao problema de escolher o tempo para tomar uma determinada ação/decisão com base em variáveis aleatórias observadas sequencialmente, a fim de maximizar um ganho esperado ou para minimizar um custo esperado com base em uma regra de parada que é escolher uma sequência, dado uma busca até o tempo n e tendo observado $X_1 \dots X_n$,

$$\phi = (\phi_0, \phi_1(x_1), \dots, \phi_n(x_1, \dots, x_n))$$

em que $\phi_i(x_1, \dots, x_i)$ é 0 ou 1 para $i = 0, 1, \dots, n$, onde 0 significa prosseguir para o próximo período ($n + 1$) e 1 parar no período n .

Stigler e McCall foram os pioneiros na teoria de busca. Stigler (1961) propôs um modelo em que um agente tenta encontrar o menor preço entre vários vendedores de um bem idêntico. McCall (1970) propôs um modelo dinâmico de busca por emprego onde estudou o problema onde um trabalhador desempregado deve aceitar ou rejeita uma oferta salarial.

2.2.1 Modelo de Busca por Menor Preço

O agente seleciona valores de maneira aleatória e independentes de uma distribuição F a um custo c por retirada. O agente pode aceitar a oferta que acabou de ser selecionada ou pode rejeita-la sem a possibilidade de voltar atrás e uma nova oferta é selecionada. Considere o problema de um agente que tem uma oferta s . Seja a função $v(s)$ o mínimo esperado do preço mais o adicional de custo de busca de um agente que tem um oferta s e que se comporta de maneira ótima. O agente tem duas ações/possibilidades: (1) aceitar a oferta s e terminar a busca ou (2) rejeitar pagar um custo adicional c e selecionar uma nova oferta \tilde{s} . A equação de Bellman para o problema é

$$v(s) = \min\{s, c + \int v(\tilde{s})dF(\tilde{s})\}. \quad (2.11)$$

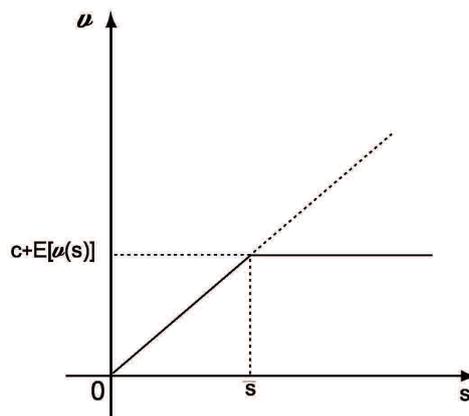


Figura 1 – Função Valor e Preço de Reserva

Como $c + \int v(\tilde{s})dF(\tilde{s})$ é uma constante, o gráfico de $v(s)$ deve ser como mostrado na Figura (1). Evidentemente existe um número crítico $\bar{s} = c + \int v(\tilde{s})dF(\tilde{s})$ tal que

$$v(s) = \begin{cases} s & , s \leq \bar{s} \\ c + \int v(\tilde{s})dF(\tilde{s}) & , s \geq \bar{s}. \end{cases} \quad (2.12)$$

Deste modo a estratégia ótima é rejeitar a oferta quando $s \geq \bar{s}$ e aceitar quando $s \leq \bar{s}$. Então a melhor estratégia é estabelecer um preço de reserva \bar{s} .

Para caracterizar \bar{s} em termos de F e c , pode-se usar 2.12 para escrever

$$\bar{s} = c + \int v(\tilde{s})dF(\tilde{s}) \quad (2.13)$$

É possível fazer algumas manipulações algébricas para encontrar a equação de caracterização

$$\int_0^{\bar{s}} (\bar{s} - s) dF(s) = c \quad (2.14)$$

O lado esquerdo da equação (2.14) é o ganho esperado de procurar mais um vendedor quando tem uma oferta \bar{s} disponível. Então a equação diz que \bar{s} é o preço tal que o ganho esperado de pagar por mais uma oferta de F é igual ao custo de fazê-lo.

2.2.2 Modelo de Busca por Emprego

Considere um trabalhador desempregado que procura por emprego, e a cada período ele recebe uma oferta salarial w que é uma realização de uma variável aleatória W tal que $F(0) = 0$ e $F(B) = 1$ para $B < \infty$.

O trabalhador desempregado tem a opção de rejeitar a oferta, e nesse caso ele recebe c nesse período e espera o próximo onde receberá uma nova oferta salarial de F . Caso o trabalhador aceite a oferta w , ele recebe um salário de w a cada período para sempre. Não é permitido que o trabalhador saia do trabalho ou seja demitido.

Seja y_t a renda do trabalhador no período t . Então $y_t = c$ se ele está desempregado e $y_t = w$ se ele aceita a oferta w . O trabalhador deseja uma estratégia para maximizar

$$\mathbb{E} \left(\sum_{t=0}^{\infty} \beta^t y_t \right) \quad (2.15)$$

onde $\beta \in (0, 1)$ é um fator de desconto intertemporal.

Seja $v(w)$ o valor esperado de $\sum_{t=0}^{\infty} \beta^t y_t$ para um trabalhador que recebe uma oferta w , que está decidindo se aceita ou rejeita a oferta e que se comporta de maneira ótima. A equação de Bellman para o problema do trabalhador é

$$v(w) = \max \left\{ \frac{w}{1 - \beta}, c + \beta \mathbb{E}[v(W)] \right\} \quad (2.16)$$

Avaliando a Figura 2 da equação (2.16), nota-se que existe um nível de salário, w^* , que o trabalhador aceita a proposta se o salário que maior que w^* e rejeita se for menor. Deste modo pode-se notar que a função valor pode ser reescrita

$$v(w) = \begin{cases} c + \beta \mathbb{E}[v(W)] & , w \leq w^* \\ \frac{w}{1 - \beta} & , w \geq w^* \end{cases} \quad (2.17)$$

Utilizando (2.17) e avaliando a função valor no ponto w^* , fazendo algumas manipulações algébricas encontra-se

$$w^* - c = \frac{\beta}{1 - \beta} \int_{w^*}^B (w - w^*) dF(w). \quad (2.18)$$

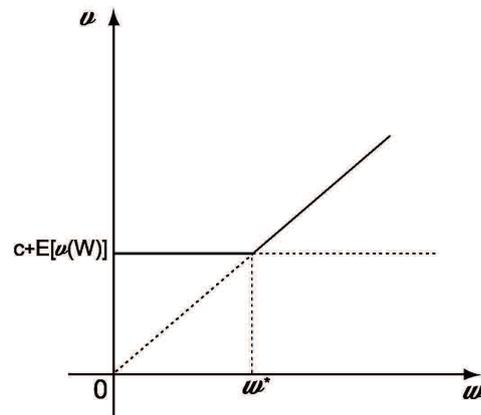


Figura 2 – Função Valor e Salário de Reserva

A equação (2.18) é a que caracteriza a determinação do salário de reserva w^* . Do lado esquerdo da equação 2.18 tem-se o custo de busca por mais um período, e o lado direito é o benefício esperado de procurar mais um período em termos do valor presente esperado associado com uma oferta $w > w^*$.

Então o modelo de busca por emprego de McCall mostra que o agente deve estabelecer w^* de tal forma que o custo de busca por mais um período se iguale ao benefício.

3 UM MODELO DE BUSCA PARA BLITZES POLICIAIS

O policiamento ostensivo de trânsito, conhecido popularmente como operação de blitz policial é uma ação exercida pelas polícias militares com o objetivo de prevenir e reprimir atos delituosos relacionados com a segurança pública e de assegurar obediência às normas relativas à segurança de trânsito, segurando a livre circulação e evitando acidentes. Geralmente as operações de blitzes consistem de atividades de parada de veículos, busca e apreensão (ver Figura 3 com exemplo).



Figura 3 – Ilustração de uma blitz policial

Procurando pensar em uma blitz como um processo análogo aos modelos de busca, seja uma operação de blitz que funciona por períodos, $t = 0, 1, 2, \dots$, e é comandada por um agente racional que tem o poder de decidir em que momento/período a operação irá terminar¹. A cada período o agente responsável observa um sinal do fluxo de veículos potenciais, w , que poderiam passar pelo local da blitz, esse fluxo é distribuído segundo uma função de distribuição acumulada e invariante no tempo $F : w \rightarrow [0, 1]$.

A cada período, a blitz aborda/para uma certa quantidade de veículos, S_t . É natural pensar que a quantidade de veículos que uma blitz aborda depende do fluxo de transito, e uma maneira para representar essa dependência é supondo que distribuição condicional de S_t depende de w . A cada veículo abordado, os agentes verificam se o veículo e/ou o condutor possuem alguma irregularidade². Caso o agente policial encontre alguma irregularidade, o veículo é apreendido. Deste modo, dos S_t veículos abordados, $A_t \leq S_t$ são apreendidos pela blitz no final do período t .

¹ Não foi tratado do processo de escolha ótima dos outros insumos (número de policiais, equipamentos, etc.), ou seja foi assumido que esses insumos são dados.

² Veículo irregular, porte ilegal de arma, porte de drogas, entre outros.

Do mesmo modo que é razoável pensar que o número de veículos abordados depende do fluxo de transito no local da blitz, podemos pensar que o número de veículos apreendidos depende do número de veículos abordados e do fluxo de veículos.

O retorno que o agente tem com a operação de blitz a cada período será função dos veículos abordados e apreendidos. Seja Y_t o retorno do agente no período t , se o agente optar por encerrar a blitz nesse período, o retorno que ele tem com a blitz é zero. Caso decida prosseguir o agente recebe $Y_t = f(S_t, A_t)$. Assumindo que $f(\cdot, \cdot)$ é separável em seus argumentos tal que $f(S_t, A_t) = u(A_t) - c(S_t)$, ou seja, o agente recebe uma utilidade pelo o número de veículos apreendidos, $u(A_t)$, mas tem um custo para abordar uma certa quantidade de veículos, $c(S_t)$ que está relacionado com os custos monetários e não monetários, incluindo horas pagas aos policiais, depreciação dos equipamentos, custos físicos e psicológicos dos policiais.

O agente responsável pela blitz deve decidir entre encerrar a operação de blitz no período t ou continuar e ir para o próximo período. Essa decisão é tomada com base em sua experiência, ou seja, o agente observa o fluxo de veículos ($W_t = w$) e depois toma sua decisão. Pela ilustração

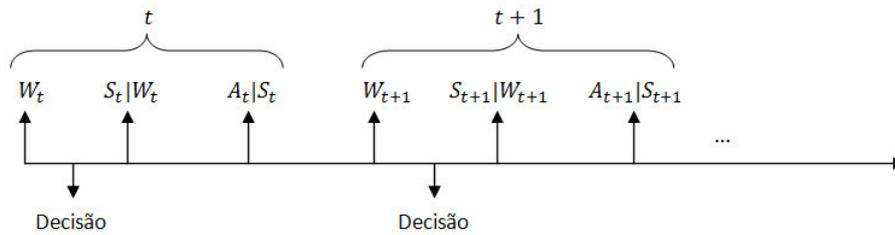


Figura 4 – Ilustração do Processo de Decisão do Agente

da Figura 4 podemos ver que quando o agente toma a decisão de prosseguir ele ainda não tem conhecimento da quantidade de veículos que a blitz vai abordar e nem da quantidade que vai apreender, então ele toma a decisão com base no retorno esperado,

$$y_t = \mathbb{E}(Y_t | W_t = w) = \begin{cases} \mathbb{E}[u(A_t) | W_t = w] - \mathbb{E}[c(S_t) | W_t = w] & , \text{ caso prossiga} \\ 0 & , \text{ caso encerre} \end{cases}$$

O agente busca uma estratégia para maximizar sua utilidade intertemporal esperada, $\mathbb{E}(\sum_{t=0}^{\infty} \beta^t y_t)$, em que $\beta \in (0, 1)$ é um fator de desconto intertemporal. Seja $v(w)$ o valor esperado do fluxo de utilidade descontada, $\sum_{t=0}^{\infty} \beta^t y_t$, de um agente que recebe um sinal w , que está decidindo se encerra (ou não) a operação de blitz e que se comporta de maneira ótima.

Usando o princípio da otimalidade de Bellman, o problema sequencial pode ser visto como a decisão ótima do período de encerramento da operação de blitz. Se o agente decidir encerrar a operação, a sua função valor será o valor presente de um fluxo de retorno sempre igual a 0, ou seja, $v(w) = 0$. Se o agente optar em prosseguir com a blitz, neste caso a sua utilidade esperada será $\mathbb{E}[u(A_t) | W_t = w] - \mathbb{E}[c(S_t) | W_t = w]$ nesse período e ele prosseguirá e terá acesso a

uma novo sinal w' da distribuição de W_t para o próximo período, de modo que,

$$v(w) = \mathbb{E}[u(A_t)|W_t = w] - \mathbb{E}[c(S_t)|W_t = w] + \beta\mathbb{E}[v(W)]$$

Desta forma a equação de Bellman para o problema do agente responsável pela operação blitz é,

$$v(w) = \max\{0, \mathbb{E}[u(A_t)|W_t = w] - \mathbb{E}[c(S_t)|W_t = w] + \beta\mathbb{E}[v(W)]\}. \quad (3.1)$$

Pode-se entender que o zero na equação Bellman desse problema é devido a decisão do agente em começar uma operação de blitz, ou seja, não tem uma história de abordagem e apreensão progressa, mas na verdade o zero é devido a formulação estrutural do problema. O retorno do agente é definido como função do número de veículos abordados e apreendidos a cada período, como o agente toma a decisão, de encerrar (ou continuar) com a operação de blitz, antes que de fato exista uma abordagem e apreensão de veículos, então se o agente optar pelo o encerramento da operação no período t o seu retorno deve ser zero.

3.1 Modelo Poisson-Binomial-Binomial (PBB)

Vamos assumir que o agente seja neutro ao risco, ou seja, $u(\cdot)$ é uma função identidade, $u(A_t) = A_t$, e que a função custo, $c(\cdot)$, seja uma função linear em S_t tal que, $c(S_t) = c_1 S_t + c_0$, com $c_1 \in (0, 1)$ e $c_0 \in \mathbb{R}^+$. Sem perda de generalidade a função custo pode ser reescrita como função de apenas um parâmetro tal que $c(S_t) = c S_t + 1$, com $c \in (0, 1)$.

Nesse modelo vamos supor uma distribuição de probabilidade para o fluxo de veículos e outras duas para as distribuições condicionais de veículos abordados e apreendidos. Então o modelo PBB será caracterizado por,

$$\begin{aligned} W_t &\sim \text{Poisson}(\lambda) \\ S_t|W_t = w &\sim \text{Bin}(w, p_s) \\ A_t|S_t = s, W_t = w &\sim \text{Bin}(s, p_a) \end{aligned}$$

onde p_s e p_a são as probabilidade do veículo ser abordado e apreendidos respectivamente.

As suposições de distribuições Binomiais atribuídas as condicionas dos veículos abordados e parados foram feitas para que o modelo leve em consideração que não é possível que a blitz aborde mais veículos que o fluxo de veículos que passam pelo o local, e também que não é possível apreender mais veículos que os que foram abordados para a vistoria no instante de tempo t .

Para resolver a equação de Bellman 3.1 precisamos calcular o valor esperado $\mathbb{E}(A_t|W_t = w)$. Pare isso pode-se utilizar a lei das expectativas iteradas, ou seja, $\mathbb{E}(A_t|W_t = w) = \mathbb{E}[\mathbb{E}(A_t|W_t =$

$w, S_t = s$]. Afim de facilitar a compreensão faça $A^* = A_t|W_t = w$ e $S^* = S_t|W_t = w$, temos que $A_t|W_t = w, S_t = s \equiv A^*|S^*$ deste modo,

$$\begin{aligned} \mathbb{E}(A^*) &= \mathbb{E}_{S^*}[\mathbb{E}(A^*|S^*)] = \mathbb{E}_{S^*}(Sp_a) \\ &= \mathbb{E}(Sp_a|W_t = w) = p_a\mathbb{E}(S|W_t = w) \\ &= p_ap_s w \end{aligned}$$

então temos que $\mathbb{E}(A_t|W_t = w) = p_ap_s w$.

O valor esperado condicionado de $c(\cdot)$ é dado por, $\mathbb{E}[c(S_t)|W_t = w] = cp_s w + 1$. Deste modo a função valor é expressa da seguinte maneira,

$$v(w) = \max\{0, wp_s(p_a - c) - 1 + \beta\mathbb{E}[v(W)]\}. \quad (3.2)$$

A seguir, é mostrado que a estratégia ótima de duração da blitz segue uma regra de *stopping time*, onde a escolha do tempo de encerramento das blitzes depende de um w^* reserva.

Teorema 1. *Se $p_a > c$ e $\beta\mathbb{E}[v(W)] - 1 < 0$, então existe uma solução positiva e única para o modelo PBB.*

Prova 1. *Pela gráfico da função v apresentado na Figura 5 é possível concluir que existe um sinal de fluxo de reserva, w^* , tal que o agente é indiferente entre prosseguir com a blitz ou terminar, e que é solução da seguinte equação,*

$$wp_s(p_a - c) + \beta\mathbb{E}[v(W)] - 1 = 0 \quad (3.3)$$

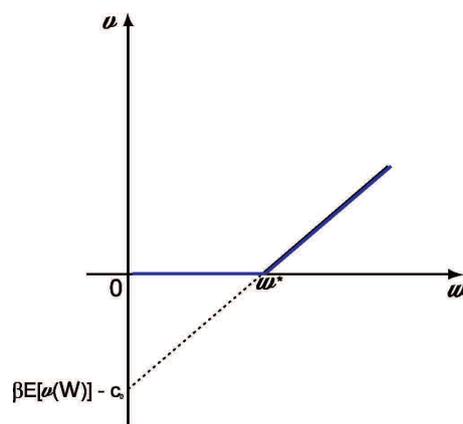


Figura 5 – Função Valor e Fluxo de Reserva

Pode-se concluir também pelo Gráfico 5 que se $w < w^*$ então a decisão ótima do agente é parar a blitz, e se $w > w^*$ o agente deve prosseguir. Deste modo podemos reescrever a função

valor da seguinte forma,

$$v(w) = \begin{cases} wp_s(p_a - c) + \beta\mathbb{E}[v(W)] - 1 & , w > w^* \\ 0 & , w < w^* \end{cases} \quad (3.4)$$

Utilizando a equação 3.4 é possível encontrar uma expressão para $\mathbb{E}[v(W)]$ como função de w^* e encontrar uma equação que caracterize o fluxo de reserva.

$$\begin{aligned} \mathbb{E}[v(W)] &= \int_0^\infty v(w)dF(w) = \int_0^{w^*} v(w)dF(w) + \int_{w^*}^\infty v(w)dF(w) \\ &= \int_{w^*}^\infty \{wp_s(p_a - c) + \beta\mathbb{E}[v(W)] - 1\}dF(w) \\ &= p_s(p_a - c) \int_{w^*}^\infty wdF(w) + \beta\mathbb{E}[v(W)] \int_{w^*}^\infty dF(w) - \int_{w^*}^\infty dF(w) \\ &= p_s(p_a - c) \int_{w^*}^\infty wdF(w) + \beta\mathbb{E}[v(W)][1 - F(w^*)] - [1 - F(w^*)] \end{aligned}$$

isolando $\mathbb{E}[v(W)]$ temos,

$$\begin{aligned} \mathbb{E}[v(W)] &= \frac{p_s(p_a - c)}{1 - \beta[1 - F(w^*)]} \int_{w^*}^\infty wdF(w) - \frac{1 - F(w^*)}{1 - \beta[1 - F(w^*)]} \\ &= \frac{p_s(p_a - c)[1 - F(w^*)]}{1 - \beta[1 - F(w^*)]} \mathbb{E}(W|W > w^*) - \frac{1 - F(w^*)}{1 - \beta[1 - F(w^*)]} \\ &= \frac{1 - F(w^*)}{1 - \beta[1 - F(w^*)]} [p_s(p_a - c)\mathbb{E}(W|W > w^*) - 1]. \end{aligned}$$

Note que se $p_a - c$ for muito próximo de zero tal que o valor da expressão $p_s(p_a - c)\mathbb{E}(W|W > w^*)$ seja menor que 1, o valor esperado da função valor pode ser negativo. Deste modo, substituindo $\mathbb{E}[v(W)]$ na equação 3.3, a equação que caracteriza o fluxo de reserva fica da seguinte maneira,

$$w^* + \beta[1 - F(w^*)]\mathbb{E}(W - w^*|W > w^*) - \frac{1}{p_s(p_a - c)} = 0 \quad (3.5)$$

É possível mostrar que a esperança condicional na expressão acima é dados por³,

$$\frac{\lambda[1 - F(w^* - 1)]}{1 - F(w^*)} - w^*$$

substituindo na equação 3.5 temos,

$$w^* \{1 - \beta[1 - F(w^*)]\} + \lambda\beta[1 - F(w^* - 1)] - \frac{1}{p_s(p_a - c)} = 0 \quad (3.6)$$

Deste modo para achar o fluxo de reserva temos que resolver uma equação não linear. Entretanto a suposição de que o fluxo de veículos segue uma distribuição Poisson faz com que a

³ Para mais detalhes ver [Johnson, Kemp e Kotz \(2005\)](#)

equação seja difícil de se resolver pelo fato da mesma não ser contínua. Uma possível solução para esse problema é fazer uma aproximação da distribuição Poisson para a distribuição Normal.

Cramér(1946) mostrou que dada uma distribuição Poisson com parâmetro λ , quando este tende ao infinito, $\lambda \rightarrow \infty$, então a distribuição de Poisson converge para uma distribuição Normal com média e variância λ . A título de curiosidade a Figura 6 mostra uma simulação de uma mostra de tamanho 100 da distribuição de Poisson feita no *software* R.

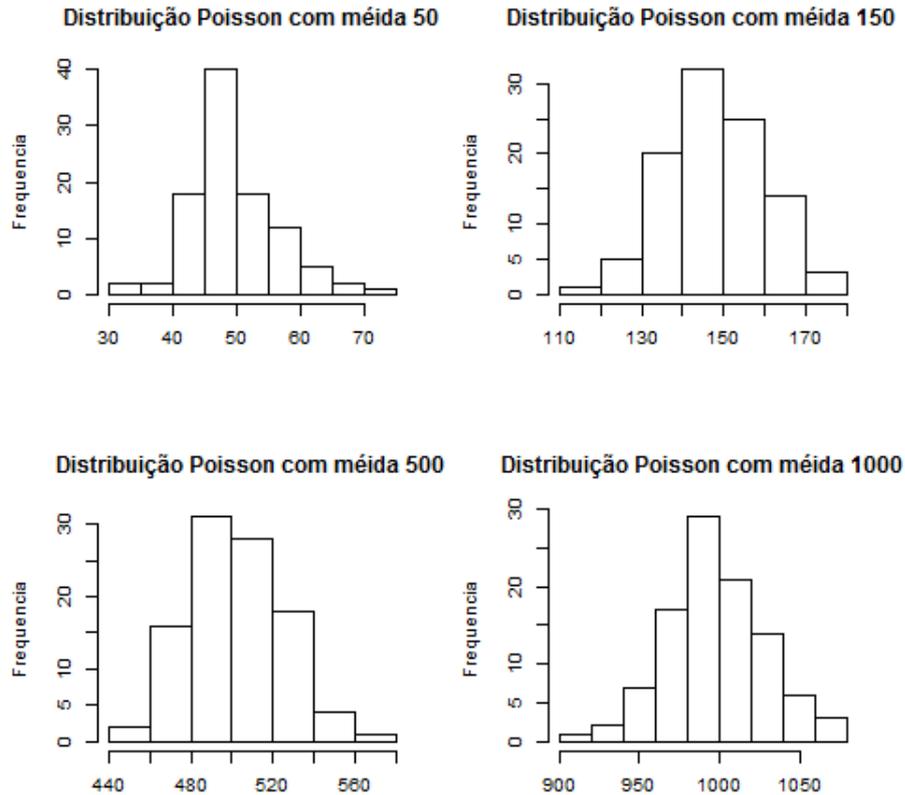


Figura 6 – Ilustração Aproximação da Poisson para Normal

Utilizando a aproximação para distribuição Normal na equação 3.6, a equação que caracteriza o fluxo de reserva será dada por,

$$w^* \left\{ 1 - \beta \left[1 - \Phi \left(\frac{w^* - \lambda}{\sqrt{\lambda}} \right) \right] \right\} + \beta \sqrt{\lambda} \phi \left(\frac{w^* - \lambda}{\sqrt{\lambda}} \right) + \beta \lambda - \frac{1}{p_s(p_a - c)} = 0 \quad (3.7)$$

em que $\phi(\cdot)$ e $\Phi(\cdot)$ são as funções densidade e distribuição acumulada de uma normal padrão, respectivamente.

A equação 3.7 é não linear, porém (ao contrário da equação 3.6) é contínua, possibilitando utilizar algum método numérico, como o método de Newton, para achar a raiz da equação.

A próxima seção propõe e implementa uma solução via simulação numérica para o modelo PBB.

4 SOLUÇÃO VIA SIMULAÇÃO

A simulação computacional é um método bastante abrangente para estudar sistemas. Uma simulação computacional/numérica é um programa executado em um computador e que usa métodos passo a passo para explorar o comportamento aproximado de um modelo matemático, em que normalmente, este é um modelo de um sistema do mundo real. Este processo inclui a escolha de um modelo, encontrar uma maneira de implementar esse modelo de uma forma que pode ser executado em um computador, calcular a saída do algoritmo, e visualizar e estudar os dados resultantes. Esse processo é usado para fazer inferências sobre o sistema alvo que se tenta modelar.

Porter, Riley e Ruffer (2004) fazem uma revisão da literatura sobre o uso de simulações na área econômica. Segundo Porter, Riley e Ruffer (2004) em microeconomia, as simulações feitas como exercícios de otimização, e em ambientes exploratórios, nos quais tenta-se identificar diferentes aspectos de uma economia simulada e simulações de mercado. Já na macroeconomia as simulações, em geral, envolvem a seleção de variáveis políticas para tentar controlar a inflação, o desemprego e as taxas de juros.

Nessa seção foi feita uma análise descritiva dos dados que foram simulados a partir do modelo PBB, utilizando o *software* R da R Core Team em um computador com um processador intel core i5, com 4 gigas de memória ram, e com um sistema operacional Windows 10 de 64 bits.

4.1 Conjectura sobre os Parâmetros: λ

É possível conjecturar valores para os parâmetros do modelo para resolver a equação não linear 3.7, que caracteriza o fluxo de reserva. Inicialmente para que haja uma boa aproximação da distribuição Poisson para Normal, a média do fluxo de veículos tem que ser muito alta. Então foi assumido que uma média a partir de $\lambda = 1000$ é suficientemente alta para uma boa aproximação. Uma média alta para o fluxo de veículos pode ser vista como se a operação de blitz estivesse sendo feita em uma avenida bem movimentada.

4.2 Conjectura sobre os Parâmetros: p_s e p_a

Em relação a probabilidade do veículo ser abordado pela blitz, pode-se imaginar que como foi suposto um intenso fluxo de veículos que passam pelo local de blitz, que está associado a um λ alto, a probabilidade de um veículo ser parado ao acaso deve ser muito pequena e conseqüentemente a probabilidade de apreensão também.

4.3 Conjectura sobre os Parâmetros: c

O parâmetro c é o mais complicado para se atribuir um valor, mas de acordo com o modelo proposto ele deve ser menor que a probabilidade de apreender um veículo, ou seja, c deve ser muito pequeno.

4.4 Simulação

Foram feitas várias simulações de 2000 interações, uma para cada blitz, para vários valores diferentes para os parâmetros do modelos. O algoritmo foi feito da seguinte maneira:

1. Dados os parâmetros, calcular numericamente w^* ;
2. gerar um valor w de uma distribuição Normal com média e variância λ ;
3. gerar um valor s de uma distribuição $Bin(w, p_s)$;
4. gerar um valor a de uma distribuição $Bin(s, p_a)$;
5. se $w > w^*$, repetir os passos 2-4 acumulando s e a . Caso contrário encerrar o programa.

O w gerado no passo 2 de uma distribuição Normal, provavelmente não será um número inteiro, deste modo deve ser arredondado em um número inteiro para o passo 3. Os valores s e a estão sendo acumulados devido comparação que foi feita com dados reais, que possui o número total de veículos abordados e apreendidos durante o funcionamento da blitz.

Os dados utilizados foram coletados pela Secretaria de Segurança Pública e Defesa Social do Ceará com a coordenação do professor José Raimundo Carvalho do Departamento de pós-graduação em Economia da Universidade Federal do Ceará. Os dados são referentes ao ano de 2012 e é composto por 2401 observações de operações de blitzes que ocorreram no estado do Ceará, sendo que 2012 operações foram feitas no município de Fortaleza.

A base de dados apresenta as seguintes variáveis: número de carros recolhidos, número de motos recolhidas, número de bicicletas (ciclos) recolhidas, número de agentes da Polícia Rodoviária Estadual (PRE), número de agentes do Policiamento Ostensivo Geral (POG), número de viaturas usadas nas operações, número de motos usadas nas operações, número de carros abordados, número de motos abordadas, número de ciclos abordados, duração da blitz em minutos e o número de notificações, o tipo de blitz (fixa ou volante), o dia da semana em que ocorreu a blitz, o mês em que ocorreu e o turno que a operação aconteceu. A Tabela 1 mostra algumas medidas de resumo de cada variável quantitativa.

Pela Tabela 1, mostra que uma blitz dura em média 336,6 minutos, ou aproximadamente 5 horas e meia, com um desvio de aproximadamente 136,40 minutos. Durante o período de operação uma blitz costuma abordar em média 47,54 carros, 47,69 motos e 1,95 bicicletas.

Tabela 1 – Estatísticas Descritivas

Variável	Mínimo	Mediana	Média	Máximo	Desvio Padrão
Carros Recolhidos	0,00	1,00	1,52	10,00	1,53
Motos Recolhidas	0,00	3,00	3,48	14,00	2,60
Bicicletas Recolhidas	0,00	0,00	0,41	9,00	0,92
Efetivo PRE	2,00	6,00	5,69	25,00	1,73
Efetivo POG	0,00	2,00	1,71	20,00	1,58
Logística de Viaturas	0,00	1,00	0,67	6,00	0,63
Logística de Motos	0,00	2,00	2,16	21,00	1,09
Carros Abordados	0,00	42,00	47,54	225,00	24,34
Motos Abordadas	0,00	45,00	47,69	160,00	20,64
Bicicletas Abordadas	0,00	0,00	1,95	58,00	4,40
Duração (min.)	30,00	360,00	336,60	1740	136,40
Notificação	0,00	17,00	17,92	57,00	9,43

Fonte: Elaborado pelo autor

Com relação aos veículos recolhidos, em média uma blitz recolhe ou apreende 1,52 carros, 3,48 motos e 0,41 bicicletas. Por essas medidas de resumo de dados, pode-se notar que apesar de uma operação de blitz durar em média aproximadamente 5 horas, não apreende-se muitos veículos.

Vale ressaltar que o modelo teórico proposto é em relação ao número de veículos, sem fazer nenhuma distinção entre carros ou motos, então as comparações foram feitas com a soma das variáveis carros, motos e ciclos abordados e recolhidos na base de dados.

Com base nos dados pode-se imaginar que a razão entre os veículos apreendidos e os veículos abordados, de uma certa maneira, é uma estimativa para o parâmetro p_a , então um possível valor para p_a é 0,05 que é a média da distribuição empírica dos dados, Figura 7, da razão entre veículos apreendidos e abordados. Não é possível fazer a mesma analogia com o parâmetro p_s pois o sinal do fluxo w é uma variável não observável.

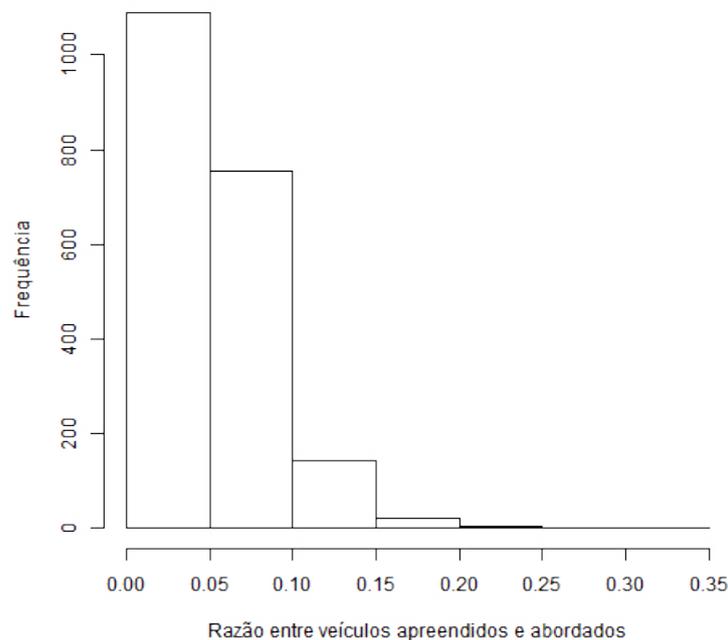


Figura 7 – Histograma da razão entre os veículos apreendidos e abordados

4.4.1 Comparação com Dados Empíricos

As simulações foram feitas com base nos parâmetros mostrados na Tabela 2. A Tabela 2 mostra também, para cada combinação de parâmetros, o nível de fluxo de reserva e a probabilidade do agente não parar a operação de blitz e prosseguir para o próximo período.

Pela Tabela 2 pode-se notar que dependendo da combinação de parâmetros o fluxo de reserva pode ser muito grande ou pequeno, será negativo se não atender a restrição $\beta E(v(W)) < 1$. Se o fluxo de reserva for grande em relação a média, a probabilidade do agente prosseguir com a operação de blitz será baixa, no caso contrário, se o fluxo de reserva for muito pequeno a probabilidade do agente continuar com a operação por mais um período será alta.

O modelos 1, 8 e 15, mostraram resultados muito parecidos entre se, isso pode ser visto nas estatísticas descritivas das Tabelas 3 e 4. Em relação as simulações para veículos abordados houve uma certa discrepância com relação aos dados reais no que diz respeito as estatísticas descritivas e ao formato da distribuição (histograma) apresentado na 8. Por outro lado pode-se observar pela Figura 9 e pela Tabela 4 que as simulações para carros apreendidos retornaram resultados muito próximos as dos dados reais.

Tabela 2 – Simulações

	λ	β	p_s	p_a	c	w^*	$\mathbb{P}(W > w^*)$
Modelo 1	1000	0,99	0,06	0,05	0,04	1012,48	0,35
Modelo 2	1000	0,5	0,06	0,05	0,04	1166,68	0
Modelo 3	1000	0,1	0,06	0,05	0,04	1566,67	0
Modelo 4	1000	0,99	0,02	0,05	0,04	4010	0
Modelo 5	1000	0,99	0,09	0,05	0,04	961,37	0,89
Modelo 6	1000	0,99	0,06	0,09	0,04	-65666,67	-
Modelo 7	1000	0,99	0,06	0,05	0,03	-15666,67	-
Modelo 8	2000	0,99	0,03	0,05	0,04	2018,33	0,34
Modelo 9	2000	0,5	0,03	0,05	0,04	2333,33	0
Modelo 10	2000	0,1	0,03	0,05	0,04	3133,33	0
Modelo 11	2000	0,99	0,05	0,05	0,04	1857,42	1
Modelo 12	2000	0,99	0,09	0,05	0,04	-86888,89	-
Modelo 13	2000	0,99	0,03	0,09	0,04	-131333,3	-
Modelo 14	2000	0,99	0,03	0,05	0,03	-3133,33	-
Modelo 15	3000	0,99	0,02	0,05	0,04	3022,83	0,34
Modelo 16	3000	0,5	0,02	0,05	0,04	3500	0
Modelo 17	3000	0,1	0,02	0,05	0,04	4700	0
Modelo 18	3000	0,99	0,05	0,05	0,04	-97000	-
Modelo 19	3000	0,99	0,09	0,05	0,04	-185888,9	-
Modelo 20	3000	0,99	0,02	0,09	0,04	-197000	-
Modelo 21	3000	0,99	0,02	0,05	0,04	-130333,3	-

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 3 – Estatísticas dos dados reais e simulados para o número de veículos abordados

	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Desvio Padrão
Dados Reais	2.00	77.00	93.00	96.74	115.00	292.00	32.81
Simulação 1	35.00	57.00	65.00	93.23	120.00	495.00	58.46
Simulação 8	35.00	57.00	65.00	92.80	119.00	554.00	57.12
Simulação 15	37.00	57.00	65.00	93.74	119.00	483.00	58.05

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 4 – Estatísticas dos dados reais e simulados para o número de veículos apreendidos

	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo	Desvio Padrão
Dados Reais	0.00	2.00	4.00	4.85	7.00	20.00	3.35
Simulação 1	0.00	2.00	4.00	4.58	6.00	28.00	3.54
Simulação 2	0.00	2.00	4.00	4.54	6.00	30.00	3.40
Simulação 3	0.00	2.00	4.00	4.60	6.00	24.00	3.49

Fonte: Elaborado pelo autor

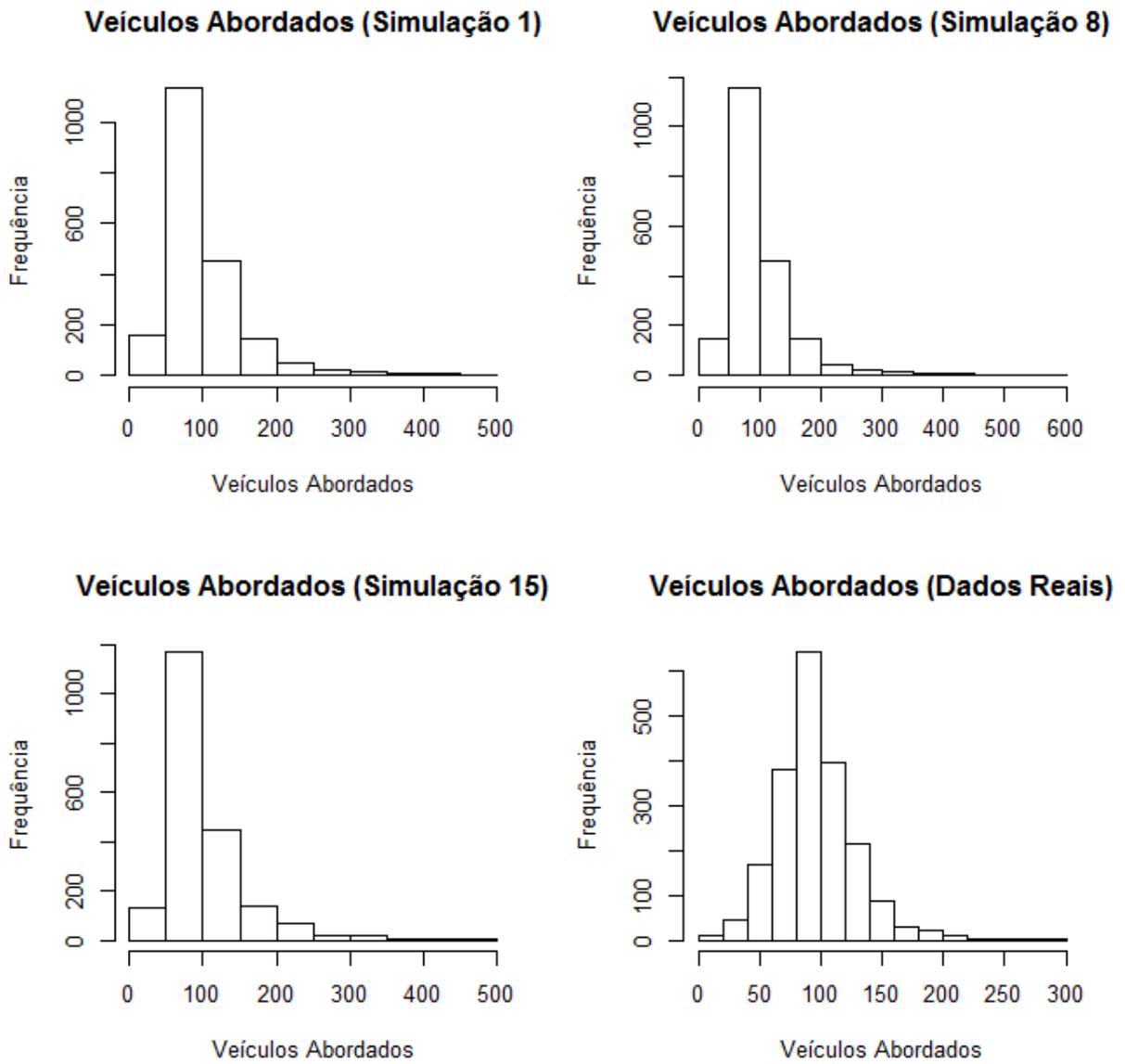


Figura 8 – Comparação para veículos abordados

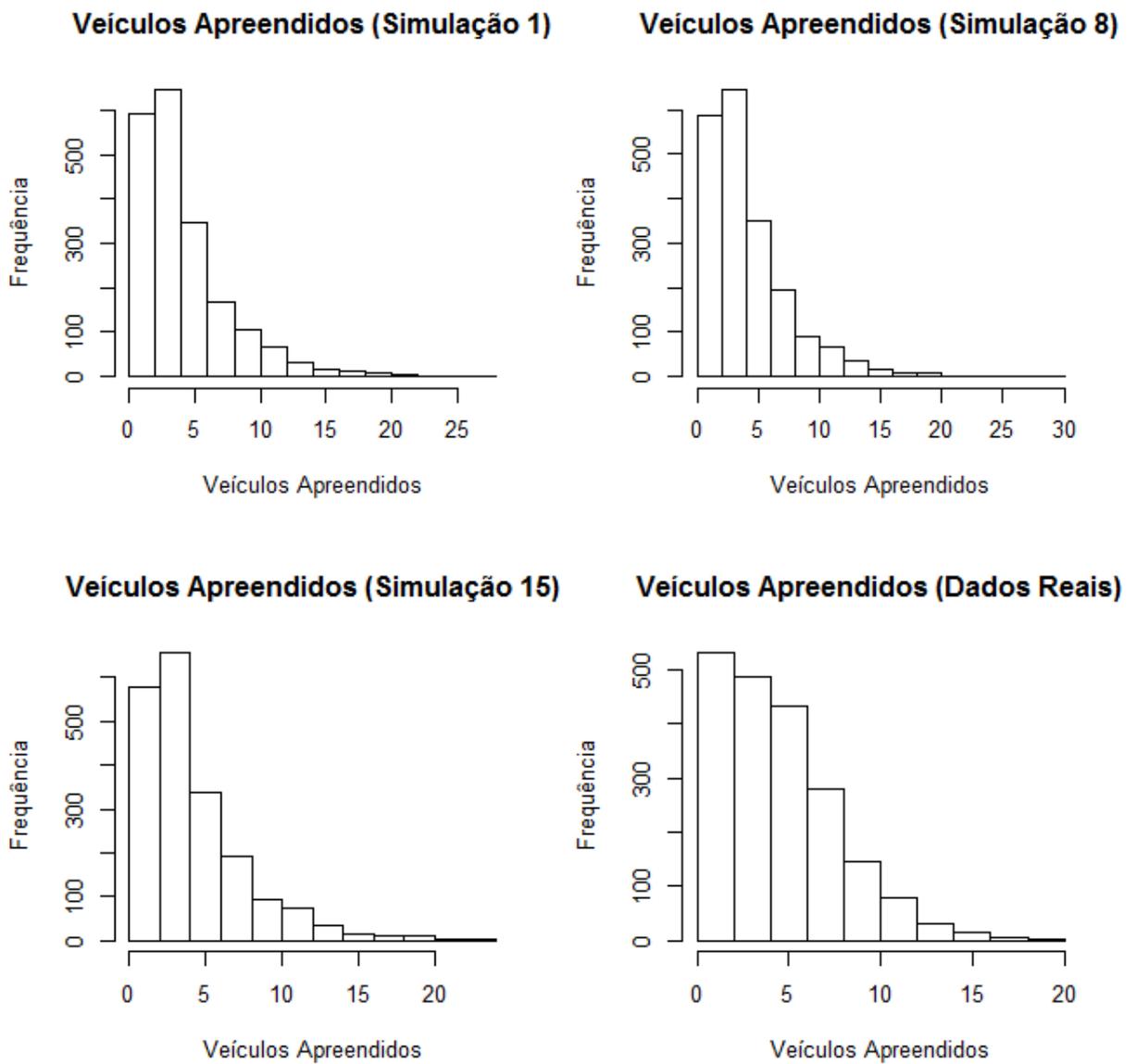


Figura 9 – Comparação para veículos apreendidos

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em consideração que o modelo proposto pressupõem que as blitzes são homogêneas, não há nenhuma diferença entre elas, e que na realidade isso não ocorre, pois cada operação de blitz tem um número de policiais e viaturas diferentes o que isso por se só já causa uma heterogeneidade entre elas (ver Tabela 1), os resultados entre as simulações e os dados reais foram bastante satisfatórios.

Foi possível encontrar resultados que se aproximam muito dos dados reais, principalmente em relação aos dados simulados para veículos apreendidos, apesar de que em relação aos veículos abordados nenhuma simulação obteve um resultado razoavelmente satisfatório na comparação com dados reais.

É claro que a quantidade veículos abordados depende do número de períodos que a operação de blitz funciona, que depende do valor do fluxo de reserva. Deste modo as estatística descritivas dos dados simulados podem se alterar de maneira significativa, por exemplo se o fluxo de reserva for grande, em relação a média do sinal do fluxo de veículos, a probabilidade do agente prosseguir com a operação será baixa, ou seja, o agente vai ficar poucos períodos com a blitz em funcionamento e conseqüentemente vai abordar um número de veículos menor.

O mau desempenho da simulação para os veículos abordados pode ter sido causado por uma escolha ruim dos parâmetros do modelo. Uma sugestão de pesquisa futura é em vez de escolher valores arbitrários para os parâmetros, utilizar técnicas estatística e econométricas de estimação com base nos dados empíricos, podendo inclusive estimar também o sinal do fluxo de reserva que é uma variável não observável.

Como o número de períodos segue uma distribuição geométrica (ver [Sargent \(1987\)](#)) com uma probabilidade de sucesso $p = \mathbb{P}(W > w^*)$,

$$P(T = t) = p^t(1 - p), \quad t = 0, 1, \dots$$

pode ser possível encontra uma verossimilhança que dependa de todos os parâmetros do modelo PBB, uma vez que w^* é função de todos os parâmetros, e estima-los pela técnica de máxima verossimilhança. Podendo ser incorporado ainda a heterogeneidade entre as blitzes.

REFERÊNCIAS

- BECKER, G. S. Crime and punishment: An economic approach. *Journal of Political Economy*, v. 76, n. 2, p. 169–217, March/April 1968. Citado na página 11.
- BRAGA, A. A.; WELSH, B. C.; SCHENELL, C. Can policing disorder reduce crime? a systematic review and meta-analysis. *Journal of Research in Crime and Delinquency*, v. 52, n. 4, p. 567–588, 2015. Citado na página 11.
- CERQUEIRA, D. Mortes violentas não esclarecidas e impunidade no rio de janeiro. *Economia Aplicada*, v. 16, n. 2, p. 201–235, Fevereiro 2012. Citado na página 11.
- CERQUEIRA, D. et al. *Atlas da Violência 2016*. [S.l.], 2016. Citado na página 10.
- CRAMÉR, H. *Mathematical Methods of Statistics*. [S.l.]: Asia Publishing House, 1946. Citado na página 24.
- EHRlich, I. Participation in illegitimate activities: A theoretical and empirical investigation. *The Journal of Political Economy*, v. 81, n. 3, p. 551–565, May/June 1973. Citado na página 11.
- FLEISHER, B. M. The effect of unemployment on juvenile delinquency. *Journal of Political Economy*, v. 71, n. 6, p. 543–555, December 1963. Citado na página 11.
- JOHNSON, N. L.; KEMP, A. W.; KOTZ, S. *Univariate Discrete Distributions*. Third edition. [S.l.]: JOHN WILEY & SONS, 2005. (Wiley Series in Probability and Statistics). Citado na página 23.
- LEMONS, R. *O EMPREGO DO POLICIAMENTO OSTENSIVO DE TRÂNSITO E A MOBILIDADE URBANA DURANTE A REALIZAÇÃO DA COPA DO MUNDO DE FUTEBOL DE 2014 EM BELO HORIZONTE*. Dissertação (Monografia) — Academia de Polícia Militar de Minas Gerais, 2011. Citado na página 12.
- LIMA, R. S. de et al. *9º Anuário Brasileiro de Segurança Pública*. [S.l.], 2015. Citado na página 10.
- LIMA, R. S. de et al. *10º Anuário Brasileiro de Segurança Pública*. [S.l.], 2016. Citado na página 10.
- MCCALL, J. J. Economics of information and job search. *The Quarterly Journal of Economics*, v. 84, n. 1, p. 113–126, 1970. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 15.
- MCDONALD, J. M. The effectiveness of community policing in reducing urban violence. *CRIME & DELINQUENCY*, v. 48, n. 4, p. 592–618, October 2002. Citado na página 11.
- PORTER, T. S.; RILEY, T. M.; RUFFER, R. L. A review of the use of simulations in teaching economics. *Soc. Sci. Comput. Rev.*, Sage Publications, Inc., Thousand Oaks, CA, USA, v. 22, n. 4, p. 426–443, dez. 2004. ISSN 0894-4393. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1177/0894439304268464>>. Citado na página 26.
- R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria, 2016. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Citado na página 26.

SANTOS, M. J.; KASSOUF, A. L. Estudos econômicos das causas da criminalidade no Brasil: Evidências e controvérsias. *Economia*, v. 9, n. 2, p. 343–372, Agosto 2008. Citado na página 11.

SARGENT, T. *Dynamic Macroeconomic Theory*. [S.l.]: Harvard University Press, 1987. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 33.

STIGLER, G. J. The economics of information. *The Journal of Political Economy*, v. 69, n. 3, p. 213–225, June 1961. Citado na página 15.

STOCHERO, T. *ENTENDA: o que a disputa nacional entre facções tem a ver com a barbárie no presídio do Amazonas*. 2017. Disponível em: <<http://g1.globo.com/am/amazonas/noticia/entenda-o-que-a-disputa-nacional-entre-faccoes-tem-a-ver-com-a-barbarie-no-presidio-do-amazonas.ghtml>>. Citado na página 10.

STOKEY, N. L.; LUCAS, R. E.; PRESCOTT, E. C. *Recursive methods in economic dynamics*. [S.l.]: Harvard University Press, 1989. Citado na página 13.

VIEIRA, H. Aplicação de modelos para dados de contagem para avaliação de blitzes policiais. 2014. Citado na página 12.

WHEELER, A. P.; PHILLIPS, S. W. A quasi-experimental evaluation using roadblocks and automatic license plate readers to reduce crime in Buffalo, NY. Disponível em: <<http://ssrn.com/abstract=2781126>>. Acesso em 5 de Junho de 2016. 2016. Citado na página 12.