



## ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE CONCRETO ASFÁLTICO USINADO A QUENTE NA OPERAÇÃO TAPA-BURACO DA CIDADE DE BELÉM DO PARÁ UTILIZANDO O MÉTODO DE PREVISÃO DA SUAIVIZAÇÃO EXPONENCIAL

**Camila de Cássia de Souza Barata**

**Carla Juliana Machado Soares**

**Renato da Silva Maciel**

Universidade da Amazônia

Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas

### RESUMO

O presente trabalho pretende contribuir para uma preparação satisfatória das equipes responsáveis pela operação “tapa-buraco” da cidade de Belém do Pará. Teve por objetivo analisar os dados de consumo de Concreto Asfáltico Usinado a Quente, visando realizar previsões de consumo que seria utilizado no mês seguinte, a partir do método da suavização exponencial. Primeiramente, foi realizada análise do processo atual e feita coleta de dados junto à Secretaria de Saneamento de Belém – SESAN, considerando o estudo da totalidade dos dados apresentados o valor médio de percentual de erro de 10,75% e um elevado valor de desvio padrão. Propõe-se então, fazer a previsão através de períodos sazonais identificados pelos dados coletados para ter mais precisão na previsão. Os resultados encontrados foram satisfatórios, apresentando média de percentual de erro na previsão de 4,39% e 8,48% para os dois períodos sazonais identificados.

**Palavras-chave:** previsão estatística; operação tapa-buraco; Suavização exponencial; pavimentação asfáltica.

### ABSTRACT

This paper intends to contribute to a satisfactory preparation of the teams responsible for the "Cover Hole" operation in the city of Belém, Pará. The objective is to analyze the Hot mix asphalt concrete consumption data, aiming to make predictions of the consumption that would be made in the following month, through the exponential smoothing method. Firstly, an analysis of the current process was made and then the data collection from the Belém Department of Sanitation - (Secretaria de Saneamento de Belém - SESAN). Considering the study of all presented data, the method shows an average value of percentual error of 10,75% and a high standard deviation value. Then, it is proposed to forecast through identified seasonal periods identified by the collected data in order to increase precision of the prediction. The results were satisfactory, with an average of percentual error of 4.39% and 8.48% for the two identified seasonal periods.

**Keywords:** statistical forecasting; Hot mix concrete asphalt; Exponential smoothing method; Asphalt paving.

## 1. INTRODUÇÃO

As cidades estão cada vez mais com um número de veículos maior, conseqüentemente com uma maior circulação dos mesmos nas ruas. Esse tráfego intenso aliado a idade do pavimento, clima, problemas na dosagem e na execução ou estrutura, fazem com que o pavimento se desgaste mais rapidamente.

Esse desgaste quase sempre é visível e um dos mais comuns, são os buracos que se formam na superfície do pavimento. Essa degradação causa inúmeros imprevistos, sendo que sua maioria atrapalha a fluidez no trânsito das cidades e assim causando congestionamentos e até mesmo acidentes. Na cidade de Belém do Pará não é diferente. Existem inúmeras patologias nos pavimentos que se espalham pela cidade causando problemas, acumulando água e dificultando a vida de quem mora ou que precisa passar por essas vias, uma das patologias mais comuns são as “panelas”.

A operação "tapa-buraco" é uma ação feita pela Secretaria de Saneamento (SESAN) de Belém que visa fechar esses buracos utilizando CBUQ (concreto betuminoso usinado a quente), também conhecido como CA (concreto asfáltico). Esses serviços realizados nas vias de Belém com CA são diários, sendo assim, a estatística se apresenta como uma ferramenta para a



previsão de dados quantitativos, sendo necessária e interessante para a realização desses serviços. Com o auxílio da previsão estatística estima-se conseguir realizar o controle da quantidade de CA necessária mês a mês, com uma relativa facilidade e organização e preparo, concomitantemente fazendo com que as equipes responsáveis pela operação tapa buraco consigam melhor planejamento e infraestrutura.

A previsão de informações tem se tornado cada vez mais utilizada nos meios comerciais e industriais, pois possui fácil compreensão e na atualidade se tornou mais simples, por conta dos modelos computacionais. Devido à necessidade de reparos diários, uma ferramenta que possa ajudar a prever o quanto de material asfáltico será utilizado nas ruas da cidade de Belém, poderia tornar o serviço mais eficiente e conseqüentemente melhoraria o desempenho do pavimento, dando uma melhor trafegabilidade nas ruas.

## 2. OBJETIVO

Esta pesquisa teve por objetivo prever a quantidade de massa asfáltica - CA a ser utilizada na cidade de Belém do Pará para o mês subsequente ao atual, servindo como balizador para que as equipes responsáveis pela manutenção das vias durante a operação tapa-buraco tenham mais preparo e planejamento sobre a operação.

## 3. SUAVIZAÇÃO EXPONENCIAL SIMPLES

Quando para armazenar dados em computadores era de um custo muito alto, a utilização de médias móveis exponencialmente ponderadas (suavização exponencial) era muito vantajosa. Esses custos deixaram de ser uma preocupação muito grande, porém a suavização exponencial continua sendo amplamente utilizada.

A Suavização Exponencial Simples (SES) é uma média ponderada que dá pesos maiores às observações mais recentes, eliminando uma das desvantagens do método de Média Móvel Simples. Segundo Casaca (2008), o modelo de Suavização Exponencial Simples (SES) pode ser utilizado quando o resultado que se quer não apresenta tendência ou sazonalidade.

Como é um modelo constante, é indicado para séries que são caracterizadas localmente pelo seu nível, com uma variação aleatória desprezável, as mudanças ocorridas numa série neste formato são muito lentas.

De acordo com Delurgio (1998) a suavização exponencial simples, exige apenas três dados: a previsão mais recente, o valor real mais recente e uma constante de suavização. A constante de suavização  $\alpha$  determina o peso dado às observações passadas mais recentes e, controla a taxa de suavização ou da média. Geralmente seu valor está restrito ao intervalo [0; 1]. A fórmula do SES pode ser expressa por:

$$F_t = \alpha A_{t-1} + (1 - \alpha)F_{t-1}$$

onde:

$F_t$  = previsão para o período;

$A_{t-1}$  = Valor real para o período;

$F_{t-1}$  = previsão para o período;

$\alpha$  = constante de suavização.



A constante de suavização confere os pesos relativos ao valor mais recente, real e previsto. A suavização exponencial também é chamada de média exponencial. A constante  $\alpha$  determina o peso exponencial da realidade passada.

#### 4. PROCEDIMENTOS UTILIZANDO SUAUVIZAÇÃO EXPONENCIAL

Foram coletados dados numéricos da secretaria de saneamento de Belém. Esses dados mostram a quantidade de asfalto utilizado na operação tapa-buraco utilizado na cidade desde julho de 2015 até fevereiro de 2017.

O número de equipes não foi fornecido pela Secretaria de Saneamento (SESAN), em conversa com técnicos locais, foi esclarecido que a empresa que presta serviço de recapeamento para SESAN disponibiliza equipes de acordo com a verba e veículos disponíveis, não seguindo um padrão. Foi mostrado que a verba disponível depende de variados fatores, desde liberações de licitações até períodos do ano, como o início do ano onde se arrecada IPTU, estes que influenciam diretamente na mão-de-obra de execução. O número de equipes sofre uma variação extremamente constante, fazendo que não haja um número padronizado ou especulado.

A ferramenta utilizada foi a suavização exponencial, onde se usa o programa Excel® como complemento auxiliador para obter resultados numéricos. Uma análise de série temporal foi feita para saber em que categoria os dados se encaixavam. Existem quatro tipos:

- Tendência - elementos de longo prazo relacionados com a série de tempo (pode ser constante, descer ou ascender com o tempo);
- Ciclo - ondas longas, mais ou menos regulares, em torno de uma linha de tendência;
- Sazonalidade (estações) - ondas curtas, padrões regulares da série de tempo;
- Aleatório - todos os efeitos que não foram incorporados pela série de tempo via os três componentes anteriormente citados, ou seja, é o resíduo.

Foram feitas colunas de ano, mês, quantidade de CA utilizado em toneladas ( $X_t$ ), alfa, valor previsto para o alfa utilizado ( $\alpha$ ) e o erro em toneladas, para que o cálculo pudesse ser feito e os valores fossem pareados entre si. A projeção foi feita com as fórmulas: para se ter certeza de que alfa deveria ser utilizado, foi feito um cálculo do erro, quanto menor o erro para o alfa utilizado, mais preciso será a projeção, sendo cada vez mais próxima do valor real, conforme tabela 1.

Tabela 1: exemplo

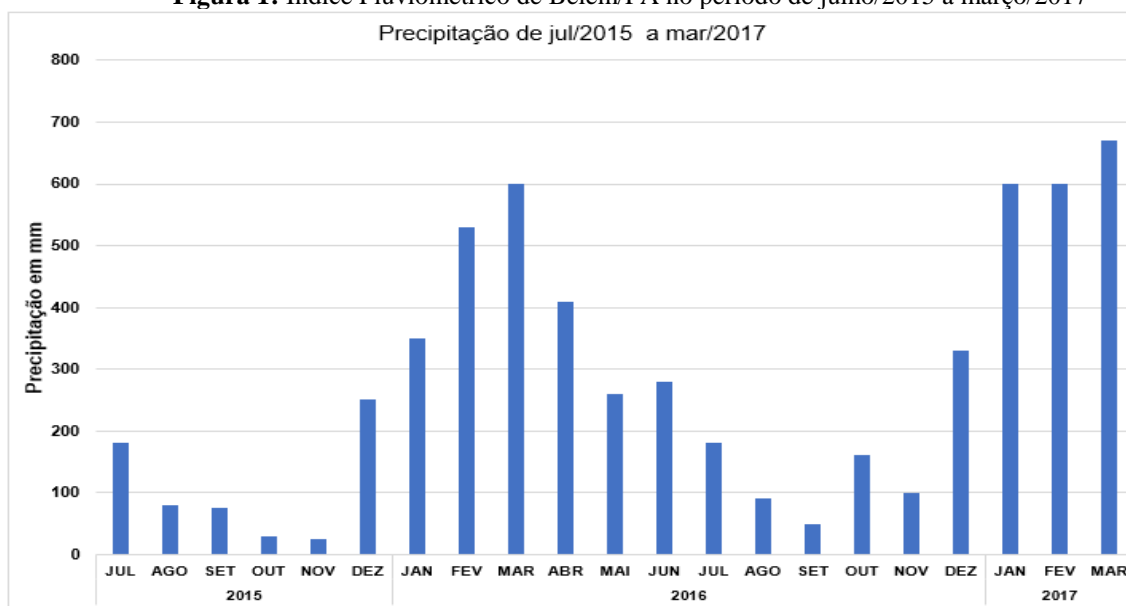
Ano	Mês	$X_t$ (T)	$\alpha = 0,9$	Erro
-----	-----	-----------	----------------	------

Fonte: autoria própria.

Ao se realizar o estudo considerando todos os valores de dados do consumo de CA fornecidos pela SESAN o melhor coeficiente alfa encontrado foi de 0,9, apresentando o menor erro, culminando em um erro médio da ordem de 9,1 toneladas. Com o intuito de melhorar o resultado, foi realizado uma comparação dos dados de evolução do consumo de CA com o índice pluviométrico fornecido pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) da base de dados de Belém/PA, conforme apresentado na Figura 1. Então, os dados foram separados em dois períodos sazonais que correspondem a seis meses seguidos, o primeiro de março a agosto e o segundo de setembro a fevereiro.



**Figura 1:** Índice Pluviométrico de Belém/PA no período de julho/2015 a março/2017



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

A partir da divisão em dois períodos, o melhor valor de alfa continuou sendo o de 0,9. Para o período de março a agosto o percentual de erro médio calculado foi reduzido para 4,39% e no período de setembro a fevereiro o percentual de erro médio calculado foi reduzido para 8,48%. Esses Resultados serão confirmados a seguir.

## 5. RESULTADOS

Os dados de consumo de CA em toneladas utilizados na operação tapa-buraco na cidade de Belém/PA começaram a ser monitorados pela SESAN a partir de julho/2015. Então, foram disponibilizados para o estudo apenas 21 meses, sendo de julho/2015 até março/2017, conforme tabela 2.

**Tabela 2:** relação ano/mês disponíveis

Ano	Nº Mês	Mês	Xt (T)
2015	1	JUL	1.969,37
2015	2	AGO	1.469,56
2015	3	SET	923,53
2015	4	OUT	1.124,68
2015	5	NOV	852,75
2015	6	DEZ	970,5
2016	7	JAN	815,97
2016	8	FEV	672,97
2016	9	MAR	1.804,42
2016	10	ABR	2.173,63
2016	11	MAI	1.796,32
2016	12	JUN	2.076,80
2016	13	JUL	1.563,36
2016	14	AGO	797,11
2016	15	SET	1.419,17
2016	16	OUT	1.680,21
2016	17	NOV	1.614,49
2016	18	DEZ	1.949,57
2017	19	JAN	767,02
2017	20	FEV	928,89
2017	21	MAR	1894,58



**Fonte:** autoria própria.

Com base nos dados da tabela 2, calculou-se as projeções de consumo de CA utilizando os coeficientes alfas compreendidos entre 0,1 a 0,9, o erro e o percentual de erro em relação ao valor real, sendo observado que o menor erro se deu para o coeficiente alfa  $\alpha=0,9$  (Tabela 3). O erro médio é a média de todos os erros obtidos, e o desvio padrão do erro, calculado por  $\sigma = \sqrt{[\Sigma((X-\mu)^2) N]}$ .

**Tabela 3:** Valor real, previsão e erro para o período de julho/2015 a março/2017.

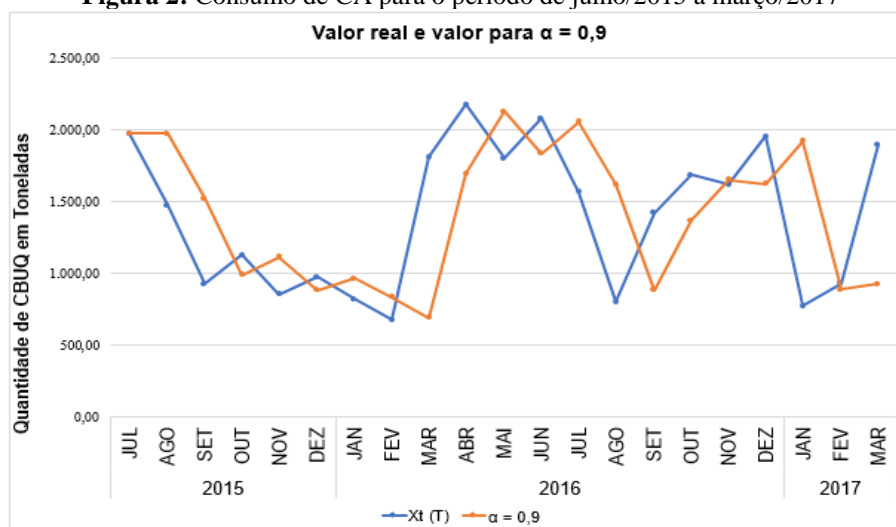
Ano	Mês	Xt (T)		Erro (T)
		a	b	
2015	JUL	1.969,37	1969,37	0,00
2015	AGO	1.469,56	1969,37	499,81
2015	SET	923,53	1519,54	596,01
2015	OUT	1.124,68	983,13	-141,55
2015	NOV	852,75	1110,53	257,78
2015	DEZ	970,5	878,53	-91,97
2016	JAN	815,97	961,3	145,33
2016	FEV	672,97	830,5	157,53
2016	MAR	1.804,42	688,72	-1115,7
2016	ABR	2.173,63	1692,85	-480,78
2016	MAI	1.796,32	2125,55	329,23
2016	JUN	2.076,80	1829,24	-247,56
2016	JUL	1.563,36	2052,04	488,68
2016	AGO	797,11	1612,23	815,12
2016	SET	1.419,17	878,62	-540,55
2016	OUT	1.680,21	1365,12	-315,09
2016	NOV	1.614,49	1648,7	34,21
2016	DEZ	1.949,57	1617,91	-331,66
2017	JAN	767,02	1916,4	1149,38
2017	FEV	928,89	881,96	-46,93
2017	MAR	1894,58	924,2	-970,38
		Erro Médio		<b>9,10</b>
		% Erro Médio		<b>10,75</b>
		Desvio Padrão do Erro		<b>550,48</b>

**Fonte:** autoria própria.

A partir dos dados da tabela 3, foi gerado a figura 2 mostrando o comportamento do valor previsto em relação ao valor real do consumo de CA em toneladas ao longo dos meses especificados nessa tabela.



**Figura 2:** Consumo de CA para o período de julho/2015 a março/2017



**Fonte:** autoria própria.

A partir de agora, as análises serão realizadas com a divisão em dois períodos. O primeiro período compreendido entre os meses de março a agosto de cada ano, culminou em nove meses de aferições, onde calculou-se as projeções de consumo de CA utilizando os coeficientes alfas compreendidos entre 0,1 a 0,9. O menor erro encontrado deu-se para o coeficiente alfa  $\alpha=0,9$  (Tabela 4).

Tabela 4 – Valor real, previsão e erro para o período de março a agosto de cada ano dos dados fornecidos

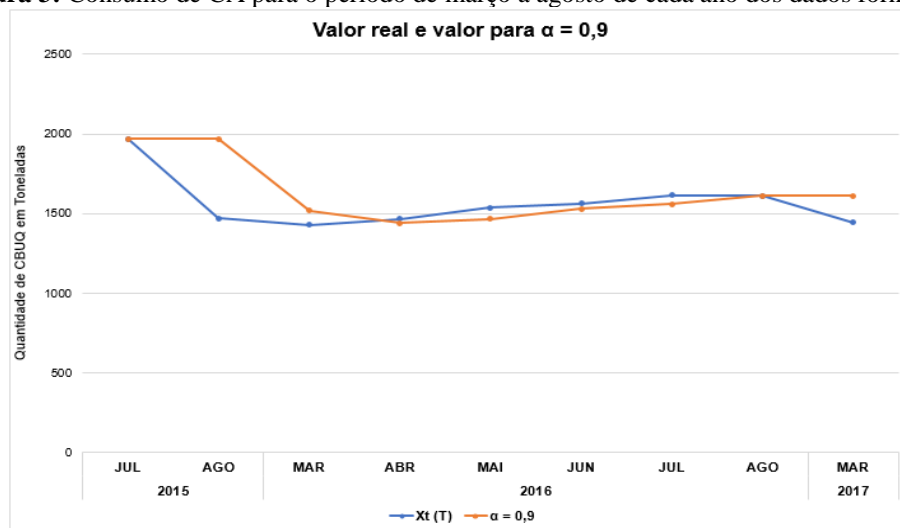
Ano	Mês	$X_t (T)$	$\alpha = 0,9$	Erro (T)
		a	b	(b-a)
2015	JUL	1969,37	1969,37	0,00
2015	AGO	1.469,56	1969,37	499,81
2016	MAR	1429,88	1519,54	89,66
2016	ABR	1467,33	1438,84	-28,49
2016	MAI	1537,96	1464,48	-73,48
2016	JUN	1563,8	1530,61	-33,18
2016	JUL	1615,1	1560,48	-54,62
2016	AGO	1609,92	1609,63	-0,29
2017	MAR	1443,95	1609,89	165,94
Erro Médio				<b>62,82</b>
% Erro Médio				<b>4,39</b>
Desvio Padrão do Erro				<b>180,34</b>

**Fonte:** autoria própria.

A partir dos dados da tabela 4, foi gerado a Figura 3 mostrando o comportamento do valor previsto em relação ao valor real do consumo de CA em toneladas ao longo dos meses especificados nessa tabela.



**Figura 3:** Consumo de CA para o período de março a agosto de cada ano dos dados fornecidos



**Fonte:** autoria própria.

O segundo período corresponde aos meses de setembro a fevereiro de cada ano, que culminou em doze meses de aferições, onde calculou-se as projeções de consumo de CA utilizando os coeficientes alfas compreendidos entre 0,1 a 0,9. O menor erro encontrado deu-se novamente para o coeficiente alfa  $\alpha=0,9$  (Tabela 5).

**Tabela 5:** Valor real, previsão e erro para o período de setembro a fevereiro de cada ano dos dados fornecidos

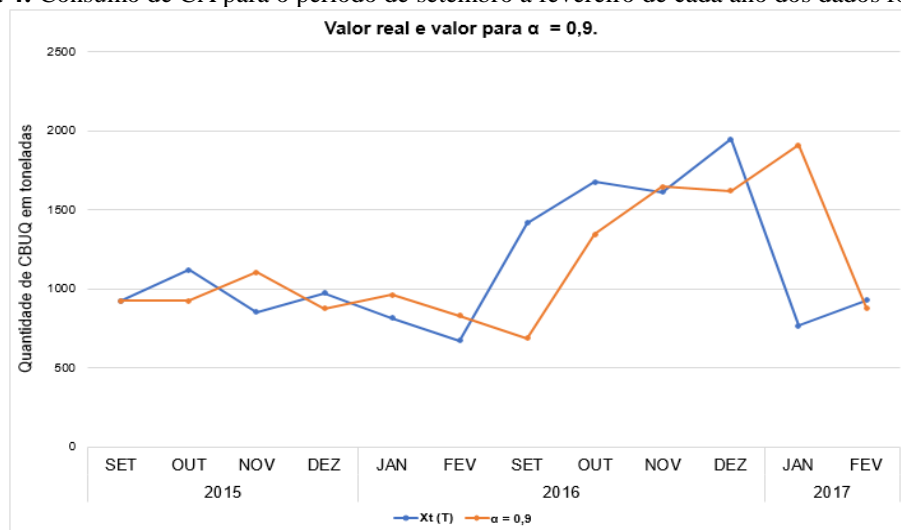
Ano	Mês	Xt (T)	$\alpha = 0,9$	Erro (T)
		a	b	(b-a)
2015	SET	923,53	923,53	0,00
2015	OUT	1124,68	923,53	-201,15
2015	NOV	852,75	1104,57	251,82
2015	DEZ	970,5	877,93	-92,57
2016	JAN	815,97	961,24	145,27
2016	FEV	672,97	830,5	157,53
2016	SET	1419,17	688,72	-730,45
2016	OUT	1680,21	1346,13	-334,08
2016	NOV	1614,49	1646,8	32,31
2016	DEZ	1949,57	1617,72	-331,85
2017	JAN	767,02	1916,39	1149,37
2017	FEV	928,89	881,96	-46,93
		Erro Médio		<b>0,06</b>
		% Erro Médio		<b>8,48</b>
		Desvio Padrão do Erro		<b>451,05</b>

**Fonte:** autoria própria.

A partir dos dados da tabela 5, foi gerado a Figura 4 mostrando o comportamento do valor previsto em relação ao valor real do consumo de CA em toneladas ao longo dos meses especificados nessa tabela.



**Figura 4:** Consumo de CA para o período de setembro a fevereiro de cada ano dos dados fornecidos



Fonte: autoria própria.

Após as análises, apresenta-se a tabela 6 com a comparação dos valores de previsão para o mês de abril/2017 e setembro/2017, utilizando-se a suavização exponencial para a continuidade dos dados apresentados nas tabelas 4 e 5, confrontando com a continuidade dos dados apresentados na tabela 3.

**Tabela 6:** Comparação das previsões realizadas para o mês de abril e setembro de 2017

	$\alpha = 0,9$	$\alpha = 0,9$	$\alpha = 0,9$
Suavização Exponencial Aplicada	Tabela 3	Tabela 4	Tabela 5
Previsão do mês 22 (Abril/2017)	1.797,54	1.460,55	-
Previsão do mês 27 (Setembro/2017)	-	-	924,20
Erro médio	9,1	62,82	0,06
%Erro médio	10,75	4,39	8,48
Desvio padrão do erro	550,48	180,34	451,05

Fonte: autoria própria.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de caso desse trabalho mostra que é possível fazer uma previsão do consumo de CA em toneladas que será utilizado para o mês seguinte de acordo com a série histórica dos dados repassados pela SESAN, utilizando-se de ferramentas estatísticas para previsão de dados.

Com o método de previsão de dados por suavização exponencial, o panorama mostra os períodos de julho de 2015 a março de 2017, totalizando 21 meses, sendo possível prever o mês de número 22, abril/2017. Usando as fórmulas necessárias, o coeficiente  $\alpha=0,9$  foi o que apresentou o menor erro, sendo considerada a constante de maior credibilidade para prever o mês seguinte.

Considerando a metodologia aplicada para a utilização de todos os dados da tabela 3, o percentual de erro médio apresentado foi de 10,75% e um Desvio Padrão do Erro de 550,48 toneladas. Após a divisão dos dados em dois grupos, conforme tabela 4 e 5, que para a sua





divisão se levou em consideração as interferências pluviométricas, conseguiu-se reduzir o percentual de erro médio para 4,39% e 8,48%, e também reduzir o desvio padrão do erro para 180,4 e 451,05 toneladas, respectivamente.

Foi possível comparar as previsões de consumo de CA para o mês de abril/2017, onde a metodologia aplicada na tabela 3 estimou o consumo em 1.797,54 toneladas e a metodologia aplicada na tabela 4 estimou em 1.460,55 toneladas. Ainda foi possível realizar a previsão do mês de setembro/2017 pela metodologia aplicada na tabela 5 que estimou em 924,20 toneladas.

Por fim, foi possível realizar as estimativas de consumo de CA aplicando o método da suavização exponencial, conseguindo-se melhorar os resultados pela divisão dos dados em dois grupos. O grupo de dados correspondente aos meses de setembro a fevereiro de cada ano ainda apresentou um elevado desvio padrão em função das discrepâncias apresentadas nos valores dos meses do ano de 2016. Erros e Desvio Padrão elevados interferem significativamente na estimativa dos valores, devendo-se investigar melhor a situação dos dados, considerando outras interferências nos valores.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 7207. *Terminologia e classificação de pavimentação*. Rio de Janeiro, 1982.
- BALBO, José Tadeu. *Restauração de Pavimentos Urbanos - Dificuldades e Diretrizes para Soluções*. São Carlos: 8a. Reunião de Pavimentação Urbana, 1997.
- BALLOU, Ronald H. - *Gerenciamento da cadeia de suprimentos / logística empresarial [Em linha]*. 5.ª ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2006
- BERNUCCI, Liedi Bariani et al. *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*. Rio de Janeiro: PETROBRAS: Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto - ABEDA, 2007.
- BERTOLO, Luiz Antônio. *Métodos básicos de previsão*. Catanduva, 2012.
- BERTOLO, Luiz Antônio. *Previsão com Suavização Exponencial Simples*. Catanduva, 2016.
- CASACA, Ana Cristina Paixão - *Previsões*. In *CET de organização industrial: notas de aula*. [S.l.: s.n.], 2008.
- DELURGIO, Stephen A. - *Forecasting principles and applications*. Singapura: McGraw-Hill, 1998.
- GIL, Antônio Carlos. *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo, 2002.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Disponível em: <  
[http://www.inmet.gov.br/sim/gera\\_graficos.php](http://www.inmet.gov.br/sim/gera_graficos.php)>. Acesso em 7 de junho de 2017.
- NOGUEIRA, Fernando. *Modelagem e simulação – Modelos de previsão*. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2009.

---

Camila de Cássia de Souza Barata (camilac.csb@gmail.com)  
Carla Juliana Machado Soares (carlaju12@hotmail.com)  
Renato da Silva Maciel (renato\_mac@yahoo.com.br)  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade da Amazônia  
Av. Alcindo Cacela, 287. Belém, PA, Brasil