

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE UMA CISTERNA DO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO: atendimento da demanda durante um período de escassez

Adelena Gonçalves Maia¹ & Jurema Maria Silva Araújo²

RESUMO – A captação de água de chuva através de cisternas é uma técnica muito utilizada na região do semi-árido brasileiro, como fonte de água para os períodos prolongados de estiagem. Este trabalho busca estudar o comportamento de uma cisterna instalada na região semi-árida brasileira, durante um período de escassez. Através da simulação de operação de reservatório, considerando uma demanda padrão de 0,064 m³/dia, se atingiu um atendimento de demanda de 70%. Valores de atendimento maiores que 90% só foram conseguidos para demandas menores que 0,040 m³/dia. Simulações foram realizadas considerando diferentes atendimentos de demandas para os meses classificados como úmidos, secos e intermediários, neste caso, a economia de água nos meses úmidos foi mais significativo para o aumento de atendimento dos meses secos, do que a mesma economia nos meses intermediários. A confiabilidade de atendimento dos meses secos só atingiu um valor próximo de 90%, na situação extrema de demanda nula para os meses úmidos e intermediários. Com os resultados deste trabalho conclui-se que mesmo nas propriedades onde há a instalação e uso de cisternas, existe uma necessidade premente de outras fontes hídricas, principalmente nos períodos de estiagem, para o desenvolvimento de atividades de agricultura e pecuária.

ABSTRACT – The use of rainwater reservoirs is a technique widely used in the semi-arid areas as a source of water for prolonged periods of drought. This work studies the behavior of a rainwater reservoir installed in semi-arid region, during a period of scarcity. Using the reservoir simulation technique, reached an attendance of 70%, using a standard demand of 0.064 m³/day. Values greater than 90% attendance was achieved only for demands less than 0.040 m³/day. Simulations were performed considering different demands for the attendance of months classified as wet, dry and intermediaries, in this case, saving water in wetter periods was more significant for increasing the attendance of the dry months, than the same economy in the months intermediaries. The reliability of the dry months only reached a value close to 90% in the extreme situation of zero demand for intermediate and humid months. With the results of this study concluded that even on properties where there is the installation and use of rainwater reservoirs, there is a need of others water sources, especially in periods of drought, to the development of agriculture and livestock activities.

Palavras-Chave – Cisterna, atendimento, escassez.

¹Professora Adjunta do Curso de Engenharia Ambiental da UFRN. UFRN/CT/LARHISA, Cx. Postal 1524, Campus Universitário Lagoa Nova, CEP: 59072-970, Natal – RN; e-mail: adelena@ct.ufrn.br

²Mestranda em Engenharia Sanitária e Ambiental. PPGES UFRN/CT/LARHISA, Cx. Postal 1524, Campus Universitário Lagoa Nova, CEP: 59072-970, Natal – RN; e-mail: jurema.araujo@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

A captação e armazenamento da água de chuva é uma realidade antiga que vem se tornando cada vez mais importante na busca pelo aumento da disponibilidade hídrica para o atendimento das demandas crescentes de recursos hídricos. A captação de água de chuva através de cisternas é uma técnica muito utilizada na região do semi-árido brasileiro, como fonte de água para os períodos prolongados de estiagem. O aproveitamento de água de chuva também está tendo crescente aplicação no uso doméstico e industrial no meio urbano, como fonte alternativa de água para o atendimento das demandas menos exigentes em termos de qualidade.

No meio rural a água de chuva tem sido amplamente utilizada para fins potáveis e segundo a ABNT (2006) este uso é indicado desde que seja realizado o tratamento adequado desta água para que a mesma atenda à Portaria 518 de 2004 do Ministério da Saúde, que estabelece o padrão de potabilidade das águas. A água acumulada nas cisternas da região semi-árida tem como finalidade principal atender às necessidades básicas de consumo de água familiar, durante os meses de estiagem.

Nas áreas rurais a poluição e a contaminação da atmosfera não atingem níveis considerados altos, e mesmo em áreas mais populosas ou industrializadas a água precipitada encontra-se geralmente em acordo com os parâmetros estabelecidos pelas legislações. Esse tipo de manancial possui boa qualidade e a contaminação microbiológica também é bastante reduzida se tomadas medidas de proteção sanitária (ANDRADE NETO, 2004).

Esta fonte hídrica além de possuir boa qualidade para diversos usos possíveis caracteriza-se como mais vantajoso em relação a outros do ponto de em função da relação entre o volume precipitado e o volume armazenado.

Na superfície de captação da água de chuva não há perdas significativas do volume precipitado. No caso do armazenamento de água nos açudes a água precipitada sofre o processo de infiltração, reduzindo o seu volume final disponibilizado. Os corpos d'água também apresentam uma elevada perda relacionada a evaporação, sobretudo em regiões de clima semi-árido, com altas taxas de evaporação, característica da região estudada. É necessário então que o uso dos recursos hídricos seja otimizado e que se tenha uma gestão eficiente. Destaca-se como um importante instrumento para atender essa necessidade a captação da água de chuva através de cisternas, já que são reservatórios protegidos e que possuem superfícies de coleta impermeáveis.

Na área rural o tamanho do reservatório adotado normalmente é baseado em um tamanho padrão que é utilizado em toda a região nordestina, sem o dimensionamento específico do reservatório em função do regime pluviométrico de cada região. Este trabalho busca estudar o comportamento de um reservatório, de tamanho padrão, instalado na região semi-árida brasileira,

para o entendimento de como uma demanda de água em período de escassez é atendida, a partir de simulações que consideram a variação das demandas em períodos não escassos de água.

1. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo faz parte da área geográfica de abrangência do semi-árido brasileiro, que é uma região que tem sido atingida historicamente por estiagens contínuas e prolongadas que têm gerado graves prejuízos econômicos e sociais. A região semi-árida do nordeste brasileiro sofre com os efeitos da baixa disponibilidade hídrica, em função de fatores naturais como os longos períodos sem precipitação, a elevada taxa de evaporação e a baixa capacidade de armazenamento de água no seu subsolo, em boa parte da região.

O estudo de caso foi realizado para a microregião do Seridó Oriental, que está localizada na mesoregião Central Potiguar do estado do Rio Grande do Norte. As simulações foram realizadas no município de Currais Novos, localizado a 6° 15' 39" de latitude Sul e 36° 31' 04" de longitude oeste. O município possui uma área de 864,34 km² e população de 42.668 habitantes (IBGE, 2010).

A cidade de Currais Novos possui clima muito quente e semi-árido, com temperatura média de 27,5 °C e umidade relativa de 64%. A vegetação existente é composta pela caatinga hiperxerófila, com abundância de cactácea e plantas de porte mais baixo e espalhado, e pela caatinga subdesértica do Seridó, vegetação considerada a mais seca do Estado, que constitui-se de arbustos, bem como árvores baixas e ralas. A bacia hidrográfica do Piranhas-Açu abrange todo o município de Currais Novos (IDEMA, 2008).

De acordo com Bezerra Júnior e Silva (2007), fatores naturais com a alta insolação contribuem para o baixo potencial hídrico na região, sendo todos os cursos d'água de regime intermitente. Além disso, a área de estudo possui formação cristalina, o que infere o baixo potencial hídrico sub-superficial da bacia. Tal característica presente na maior parte do Seridó Oriental determinou a necessidade da construção de reservatórios artificiais para atender a demanda por água da população. Segundo os autores, os recursos hídricos e o solo da região também enfrentam o problema da salinização, intensificado pela alta taxa de insolação e evaporação na região.

2.2 Variação temporal da precipitação

Para o desenvolvimento deste estudo foi utilizada a série histórica de precipitação diária da Estação Pluviométrica da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN),

localizada a uma latitude de 06°16'00" S e 36°31'00" W de longitude e uma altitude de 350 m. (ANA, 2011 & EMPARN, 2011)

Foi utilizada a análise da série histórica de precipitação mensal de dezembro de 1910 a maio de 2011 para a classificação dos meses do ano como meses secos e meses úmidos. Na figura 1 se observa que os meses de fevereiro a maio apresentam precipitação média mensal com valores superiores a 38 mm que é a média das precipitações mensais. O mês de janeiro apresentou valor de média mensal de 36 mm. Apesar do mês de janeiro apresentar valor médio de precipitação um pouco abaixo do valor de referência (38 mm), ao se analisar as precipitações máximas se observou em janeiro um registro de precipitação máxima de 238 mm, acima do valor médio das precipitações máximas, que foi de 193 mm. Sendo assim, o mês de janeiro também foi classificado como mês úmido. O período úmido foi ainda subdividido em meses de transição e meses totalmente úmidos, sendo os meses de transição aqueles que iniciavam e encerravam o período úmido. A classificação final considerou os meses de fevereiro, março e abril como meses úmidos, os meses de janeiro e maio como meses de transição e os meses de junho a dezembro como meses secos.

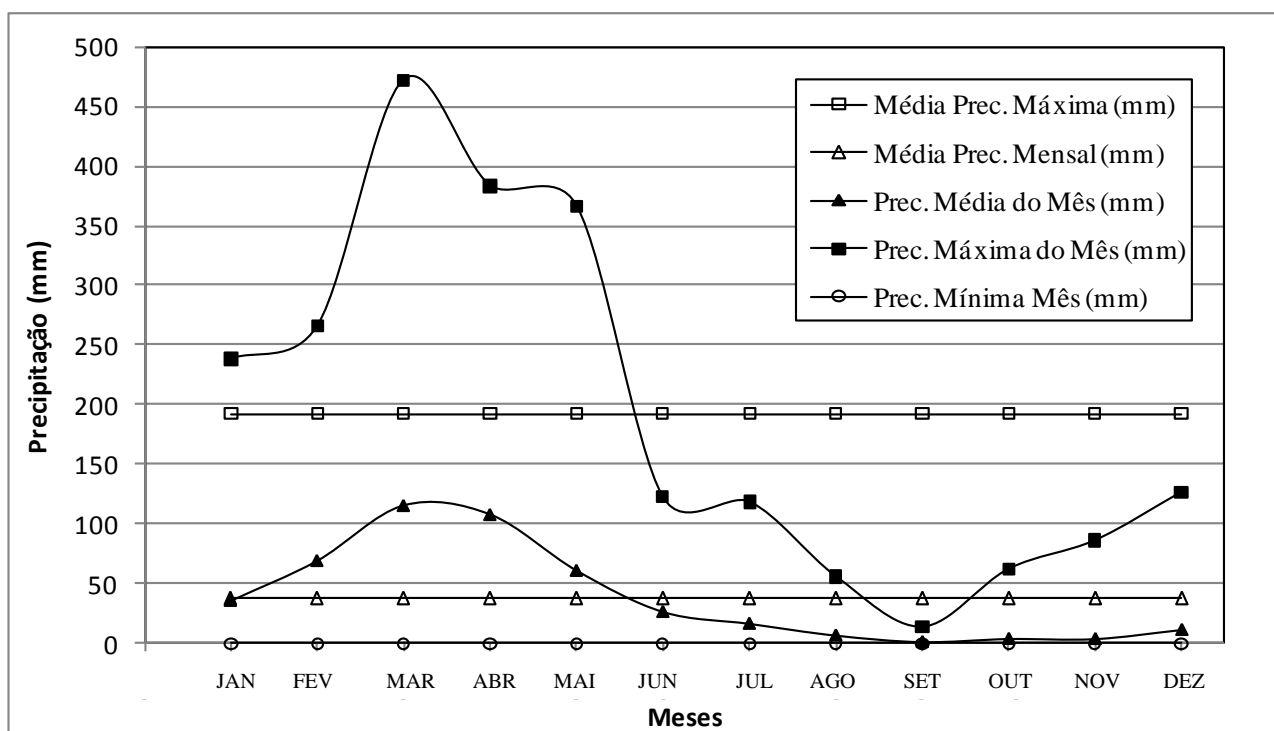


Figura 1: Variação temporal das precipitações características da área de estudo

2.3 Simulação da operação da cisterna

A análise do comportamento de uma cisterna de armazenamento de água de chuva foi realizada a partir de um processo de simulação da operação dos reservatórios, com base no equacionamento de balanço de massa do reservatório (Equação 1) apresentada a seguir:

$$S(t+1) = S(t) + Va(t) - D \quad (1)$$

Onde: “S (t+1)” é o volume armazenado no início do intervalo “t+1”; “S (t)” é o volume de armazenamento no início do intervalo “t”; “Va (t)” é o volume d’água precipitado aproveitável, durante o intervalo de tempo “t” e “D” é o volume efluente para o atendimento da demanda.

As simulações foram realizadas em intervalos diários de tempo e o fluxograma representativo do programa desenvolvido no Visual Basic aplicado aos objetos do Excel®, para a realização das simulações, é apresentado na Figura 2.

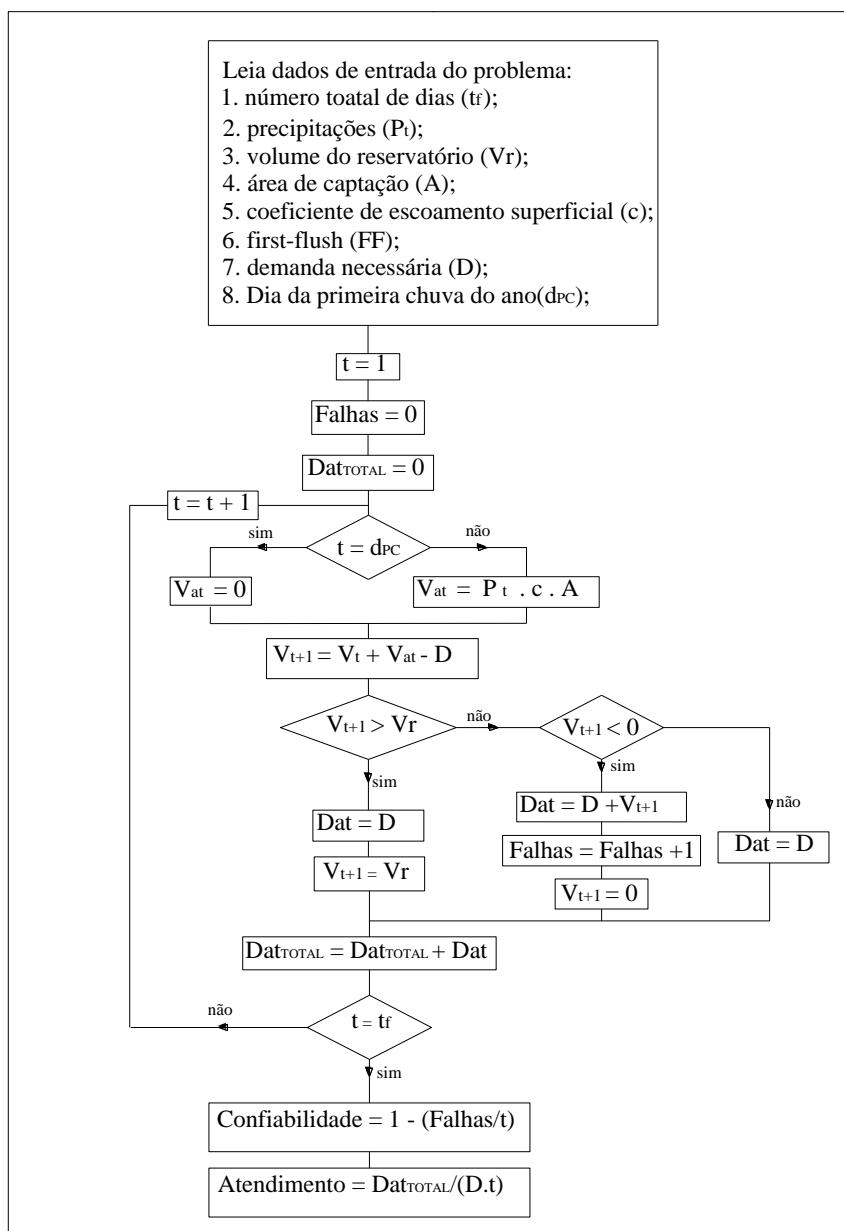


Figura 2 - Fluxograma do programa de simulação da operação do reservatório

Os dados de entrada referentes à precipitação diária foram provenientes da mesma série histórica citada anteriormente, localizada no município de Currais Novos (código: 636025). No entanto só foram utilizados os anos que não apresentaram falhas, quando foi possível obter os dados

de precipitação diária para o ano hidrológico. Foram então utilizados 85 anos de dados nas simulações.

As simulações foram realizadas para áreas de telhado com superfícies de 50 m² e o tamanho de reservatório adotado foi de 16 m³, por ser este o tamanho padrão das cisternas implantadas no Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semi-Árido: um Milhão de Cisternas Rurais, que é coordenado pela entidade conhecida como ASA Brasil (Articulação no Semi-Árido) e de 2003 a 2010 foi responsável pela implantação de 322.000 cisternas no semi-árido nordestino.

A demanda padrão de água foi calculada a partir de uma demanda unitária de 16 l/(hab.dia), considerando 4 habitantes por residência, foi obtida uma demanda por residência de 64 l/dia. O coeficiente de *runoff* utilizado neste estudo foi de 0,85. O *first-flush*, que é a água precipitada que é descartada para a limpeza do telhado, foi considerado igual à primeira precipitação diária ocorrida no ano hidrológico, sendo o *first-flush* considerado nulo para as outras precipitações do ano.

As simulações foram realizadas a partir de duas considerações diferentes de demanda, sendo elas:

A) Demanda Única: nestas simulações foi considerada uma demanda única para todos os meses. Foi avaliado o comportamento do sistema frente aos valores percentuais de confiabilidade e atendimento, a partir da variação dos valores de demanda. Foram consideradas demandas residenciais de 10 a 100 l/dia, com variações de 10 l/dia, e ainda a demanda de 64 l/dia;

B) Demanda Variável: nestas simulações foram consideradas demandas variáveis, a depender da classificação do mês em termos de umidade (úmido, seco, transição). Nestas simulações para os meses secos foi utilizada uma demanda de 64 l/dia, por se considerar que este é o período onde a disponibilidade de água através de outras fontes é baixa ou inexistente, e a dependência pela água disponibilizada pela cisterna é maior. A tabela 1 apresenta as variações de demanda dos meses úmidos e de transição consideradas nas simulações.

Tabela 1 – Variações nas demandas das simulações propostas

Simulações	Classificação de Umidade	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
B1	ÚMIDO	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064
	INTERMEDIÁRIO	0,064	0,060	0,050	0,040	0,030	0,020	0,010	0,000
	SECO	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064
B2	ÚMIDO	0,064	0,060	0,050	0,040	0,030	0,020	0,010	0,000
	INTERMEDIÁRIO	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064
	SECO	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064
B3	ÚMIDO	0,064	0,060	0,050	0,040	0,030	0,020	0,010	0,000
	INTERMEDIÁRIO	0,064	0,060	0,050	0,040	0,030	0,020	0,010	0,000
	SECO	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064	0,064

As simulações do tipo B1 foram proposta a fim de que se pudesse analisar o impacto que a redução da demanda nos meses intermediários causaria nos parâmetros de confiabilidade e atendimento. As simulações do tipo B2 tiveram o mesmo propósito, mas a estratégia utilizada foi a redução da demanda no período úmido. E as simulações do tipo B3 trabalharam com a redução simultânea de demanda dos períodos intermediário e úmido.

2. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Simulações com demanda única

A tabela 2 e a figura 3 apresentam os resultados das simulações de demanda única para todos os meses, os resultados são apresentados na forma dos parâmetros de confiabilidade e de atendimento. Os valores de atendimento, na maioria dos casos, são um pouco superiores aos valores de confiabilidade, isto porque para o cálculo do parâmetro atendimento se computa a demanda que é atendida parcialmente. Para as demanda de 0,020 e 0,010 m³/dia, os valores de confiabilidade e demanda são iguais, porque durante as simulações todas as vezes que a demanda foi atendida ela foi atendida integralmente.

Tabela 2 – Resultado das simulações para diferentes demandas

Demanda (m ³ /dia)	Confiabilidade (%)	Atendimento (%)
0,100	52,09	52,92
0,090	56,70	57,46
0,080	62,16	62,79
0,070	68,16	68,66
0,064	70,44	70,89
0,060	75,14	75,53
0,050	83,17	83,41
0,040	90,12	90,26
0,030	95,58	95,63
0,020	99,75	99,75
0,010	99,91	99,91

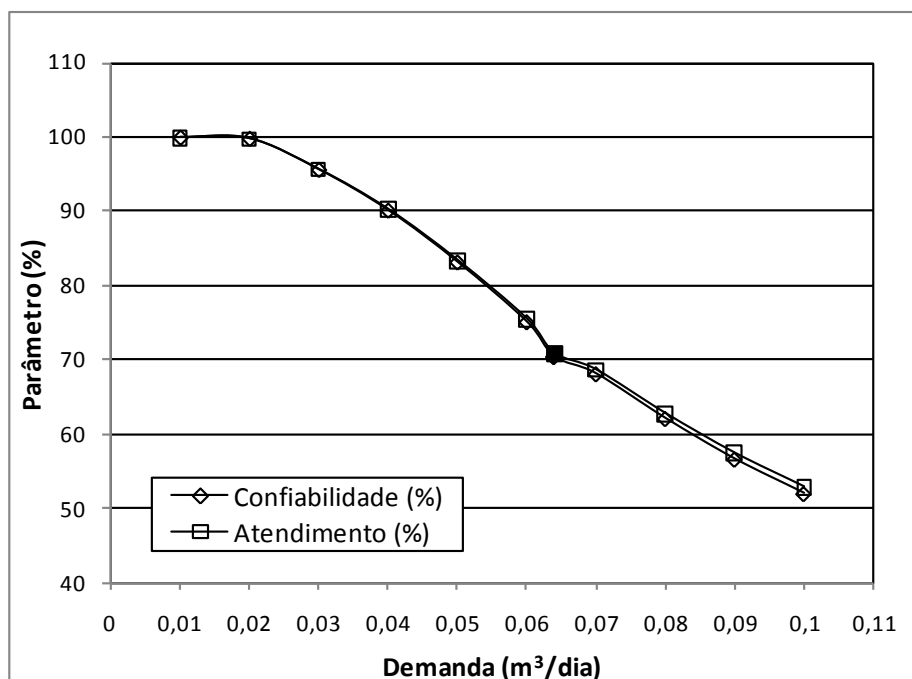


Figura 3 – Variação dos parâmetros em função das demandas

Os parâmetros de avaliação maiores que 90% só foram conseguidos para demandas menores que 0,040 m³/dia. É interessante ressaltar que muitas vezes a análise da disponibilidade de água proporcionada por uma cisterna é feita considerando apenas a precipitação média anual da região e a área de captação do telhado. Na área de estudo a precipitação média anual é cerca de 460 mm, considerando um residência com área de telhado de 50 m², o valor total disponibilizado seria de 23 m³/ano. Considerando a demanda diária de 64 l/dia, que representa uma demanda de 23,36 m³/ano, podemos observar que, a partir destes cálculos, a demanda de água estipulada poderia ser atendida integralmente pela cisterna, o que não é verdade, em função da variabilidade temporal da precipitação e do tamanho do reservatório, que fazem com que parte da água precipitada seja perdida pelo vertimento, não suprindo integralmente as demandas, principalmente no período de estiagem.

3.2 Simulações com demanda variável

Os resultados das simulações para demanda variável são apresentados na tabela 3 e nas figuras 4 a 8.

Tabela 3 – Resultado das simulações com demanda variável

Simulações	Parâmetros de análise	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
B1	CONF. ÚMIDO (%)	80,94	81,22	81,99	83,03	83,89	85,06	86,09	87,10
	CONF. INTER. (%)	70,07	70,99	73,14	74,46	76,09	77,40	78,78	100,00
	CONF. SECO (%)	66,17	66,68	68,10	69,59	71,22	72,84	74,39	75,93
	ATENDIMENTO (%)	70,89	71,41	72,72	74,04	75,42	76,85	78,21	79,57
B2	CONF. ÚMIDO (%)	80,94	81,70	83,58	86,09	87,84	89,45	90,54	100,00
	CONF. INTER. (%)	70,07	70,89	72,56	73,79	74,87	76,56	77,78	79,59
	CONF. SECO (%)	66,17	67,01	69,29	71,68	74,25	76,70	79,30	81,73
	ATENDIMENTO (%)	70,89	71,54	73,14	74,84	76,50	78,12	79,78	81,50
B3	CONF. ÚMIDO (%)	80,94	81,93	84,93	88,12	90,98	92,60	94,80	100,00
	CONF. INTER. (%)	70,07	71,79	74,73	77,50	79,95	83,74	87,73	100,00
	CONF. SECO (%)	66,17	67,57	71,41	75,38	79,28	83,17	86,35	89,32
	ATENDIMENTO (%)	70,89	72,06	75,08	78,23	81,31	84,39	87,05	89,45

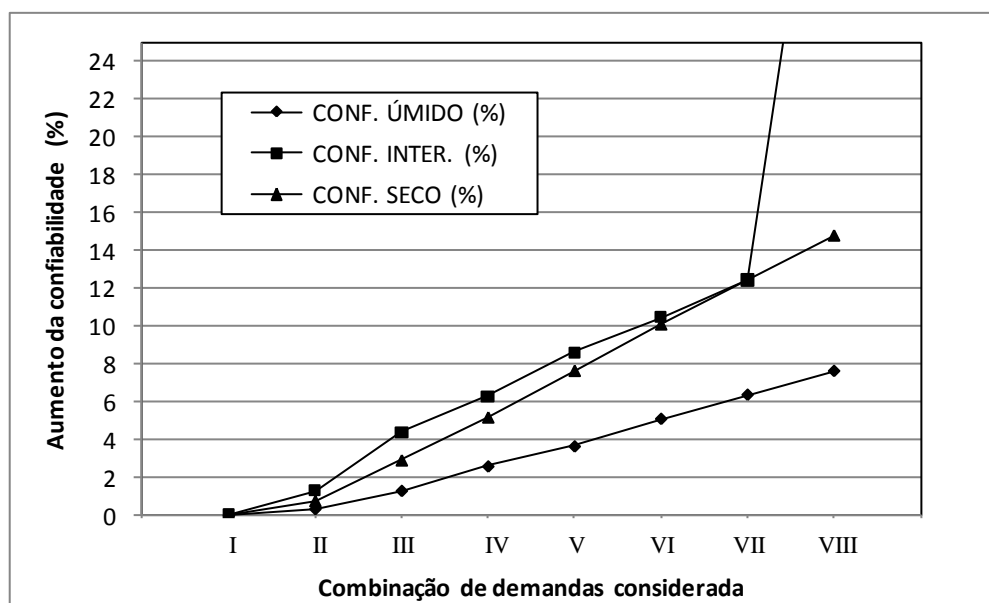


Figura 4 - Aumento percentual da confiabilidade na simulação do tipo B1

Através da análise da figura 4 se observa que na simulação B1 o aumento percentual foi mais significativo no atendimento do período intermediário, como era de se esperar, mas esta diminuição da demanda do período intermediário teve maior reflexo no atendimento das demandas do período seco do que do período úmido, pois ao se diminuir a demanda no período antecedente ao período seco, foi possível iniciar o período seco com maiores volumes de águas na cisterna.

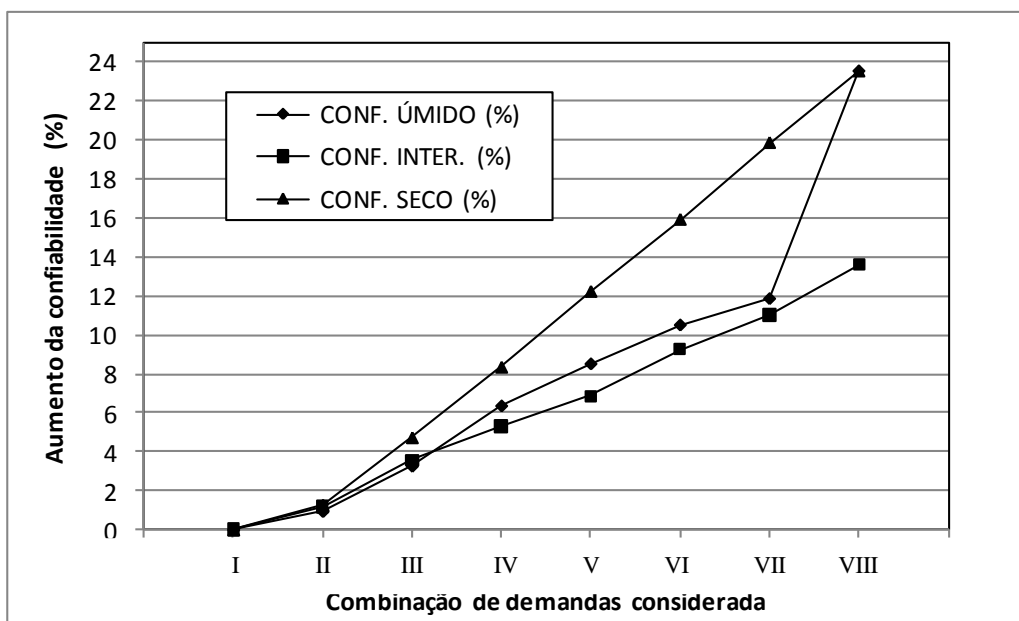


Figura 5- Aumento percentual da confiabilidade na simulação do tipo B2

Na figura 5 se observa que a diminuição de demanda do período úmido não aumentou de forma tão relevante a confiabilidade deste período, pois este já é um período com elevada confiabilidade, mesmo para demandas mais altas. No entanto esta simulação mostra a considerável interferência que a economia de água no período úmido tem na confiabilidade do período seco, por também fazer com que o início do período de estiagem ocorra com um maior volume de água acumulado na cisterna.

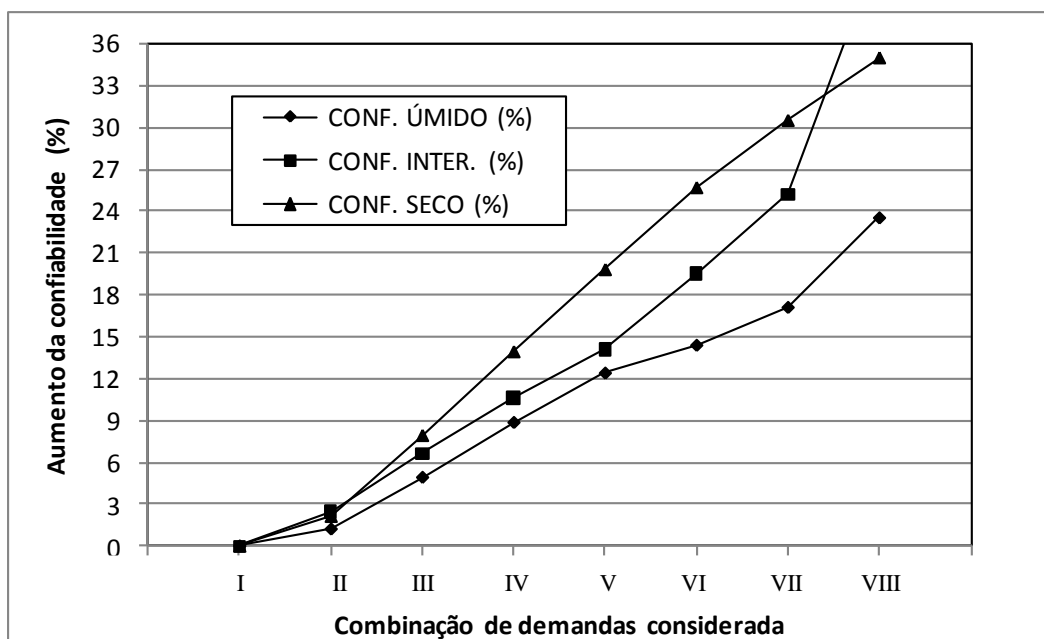


Figura 6 - Aumento percentual da confiabilidade na simulação do tipo B3

A simulação do tipo B3 apresenta a interferência conjunta das diminuições de demanda dos períodos úmido e intermediário, mostrando ainda a situação extrema (VIII) onde não se retiraria

água da cisterna durante os períodos úmido e intermediário para que toda a água acumulada nestes períodos fosse utilizada apenas no período seco, nesta última situação a confiabilidade do período seco cresceu em 35%.

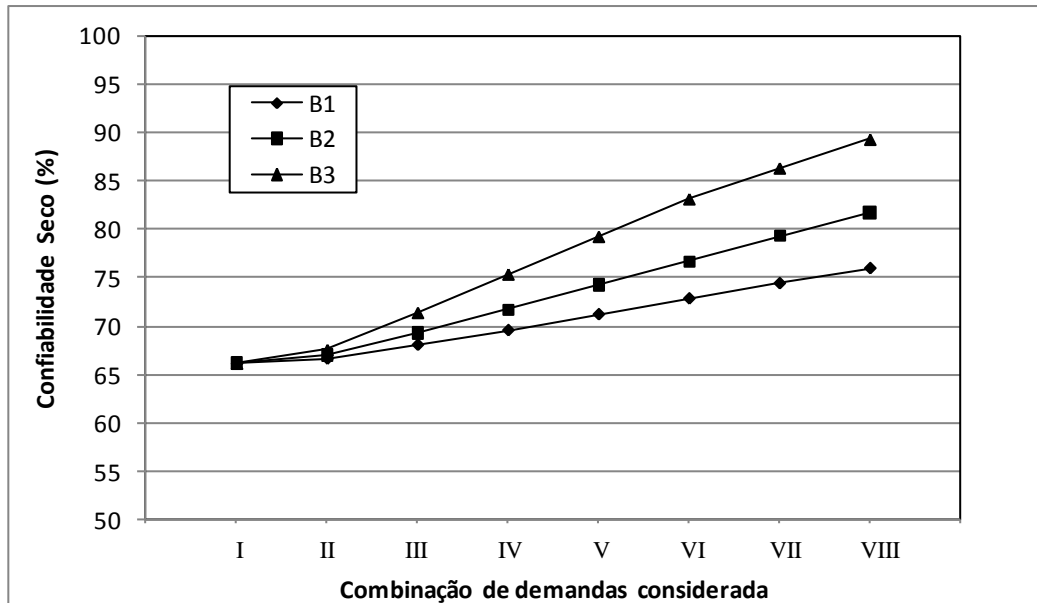


Figura 7 – Variação da confiabilidade do período seco em função das simulações realizadas

A figura 7 mostra que maiores valores de confiabilidade do período seco foram encontrados na simulação B3, seguida pelas simulações B2 e B1. O crescimento percentual, observado pela inclinação das retas, mostra que a economia de água durante o período úmido tem maior relevância no crescimento de confiabilidade do período seco, do que a economia de água apenas no período intermediário.

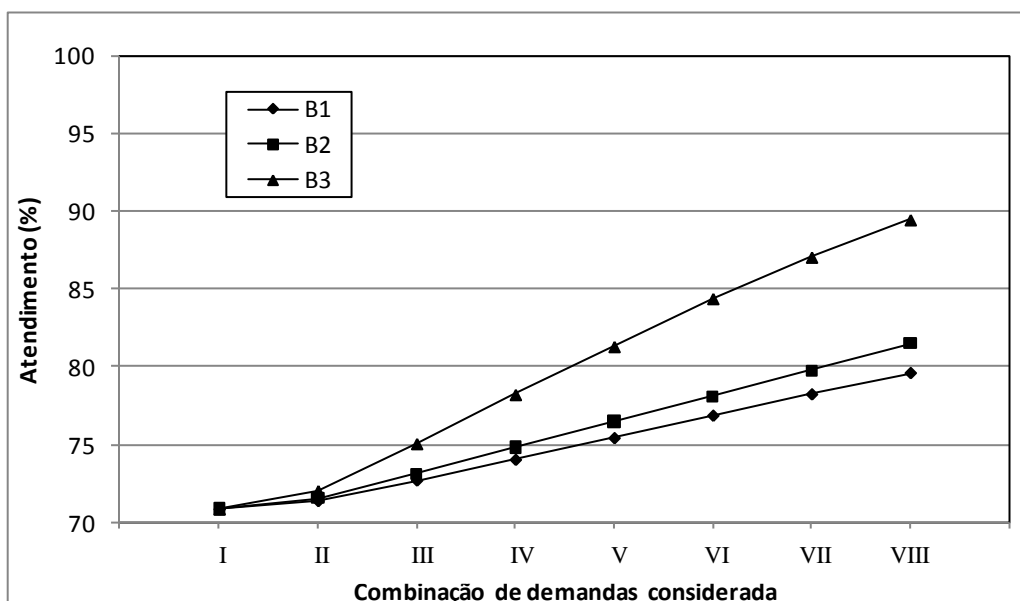


Figura 8 - Variação do atendimento em função das simulações realizadas

Todas as simulações apresentam como resultado atendimentos menores que 90%, mesmo nas simulações do tipo B3. Nas simulações B3 os decréscimos de demandas são mais significativos para o acréscimo de atendimento. E as simulações B2 apresentaram melhores resultados de atendimento do que as simulações B1.

3. CONCLUSÕES

Para o estudo do atendimento da demanda através do uso de um reservatório, deve-se considerar a variabilidade temporal das precipitações e o tamanho do reservatório, principalmente em regiões onde grande parte das precipitações se concentram em um número reduzido de meses, como é o caso da região semi-árida do Brasil.

Os resultados das simulações com demanda variável mostram a importância em se economizar ou mesmo não se utilizar a água das cisternas durante os períodos úmidos e intermediários, para uma maior fornecimento de água durante um período seco. É claro que esta indicação não se aplica quando existe a extravasão de água na cisterna ou mesmo quando não existe outra fonte hídrica no local.

A lógica da operação das cisternas deve ser a alocação de água em curto prazo, onde o cálculo da demanda diária deve estar de acordo com volume de água que se tem disponível no início do período seco e considerando o subsequente período de 7 meses de seca. Esta demanda pode ser majorada caso exista um aporte de água considerável durante os meses secos.

Os resultados das simulações mostram que o atendimento da demanda é baixo, principalmente quando se considera uma demanda fixa de 0,064 m³/dia. Deve-se ter em mente que a demanda utilizada considera um consumo de 16 l/dia/pessoa e apenas 4 pessoas por residência. Esta demanda considera apenas gastos com água para desssedentação, para cozinhar e alguma ação mínimas de higiene. Conclui-se assim, que mesmo nas propriedades onde há a instalação e uso de cisternas na região, existe uma necessidade premente de outras fontes hídricas, principalmente nos períodos de estiagem, pois apesar das cisternas serem de fundamental importância para maior disponibilidade de água, a água fornecida pela mesma não é suficiente para o desenvolvimento de atividades de agricultura e pecuária, fundamentais para a geração de renda e sobrevivência desta população.

BIBLIOGRAFIA

ANA, Agência Nacional de Águas. (2010) *HidroWeb: Sistemas de Informações Hidrológicas*. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 10 mai. 2011.

ANDRADE NETO, C.O. "I- 014- Proteção sanitária das cisternas rurais." In anais do XI Simpósio Luso-brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Natal, 2004. CD-ROM.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006). *NBR 15527: Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em áreas urbanas*. Rio de Janeiro.

BEZERRA JÚNIOR, J. G. O.; SILVA, N. M. (2007) "Caracterização Geoambiental da Microrregião do Seridó Oriental do Rio Grande do Norte". *HOLOS - Revista de Divulgação Científica e Tecnológica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte 1807-1600 v. 2*, pp. 78 – 91.

EMPARN. *Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte*. Série pluviométrica da estação de Currais Novos. PLUR008.txt, 2011.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo 2010*. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/total_populacao_rio_grande_do_norte.pdf Acesso em: 09 jun 2011.

IDEMA, Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente. *Anuário Estatístico 2008*. Disponível em: http://www.idema.rn.gov.br/contentproducao/aplicacao/idema/anuario/enviados/anuario_est%20atistico.asp. Acesso em: 09 jun. 2011.