



## Aula 3 - O TRABALHO DO Engº FRANCISCO DE AGUIAR

O grande marco da história dos métodos de dimensionamento de açudes no Nordeste Brasileiro é, sem sombras de dúvidas, o trabalho do Engenheiro Francisco de Aguiar (1934). Aguiar atuou, principalmente, em três linhas

1. na estimativa do volume afluente médio anual em uma dada bacia hidrográfica;
2. no desenvolvimento de um método para determinar a capacidade e o volume regularizado por um açude;
3. na determinação da cheia secular que deve ser considerada no dimensionamento do vertedouro de um açude.

### Estimativa do deflúvio anual

Com base em algumas observações de chuvas e vazões escoadas Aguiar desenvolveu uma fórmula polinomial que permite o cálculo da lâmina escoada média uma bacia hidrográfica conhecidas a precipitação e a características geomorfológicas da Bacia. A fórmula, bastante simples, ganhou imediatamente uma aceitação geral e até nossos dias ainda tem alguns aplicadores incondicionais. Entretanto, a não ser por uma questão de balizamento, já não é possível, ou justificável, o dimensionamento de um açude de algum porte através dessa relação<sup>1</sup>. A fórmula de Aguiar tem a forma

$$R_{mm} = 28,53H - 112,95H^2 + 351,91H^3 - 118,74H^4 \quad (1)$$

onde H denota a pluviosidade média anual na bacia hidrográfica em metros; R<sub>mm</sub> representa a lâmina média escoada na bacia hidrográfica. Para levar em consideração aspectos geomorfológicos das bacias hidrográficas, Aguiar introduziu um coeficiente de correção do rendimento do escoamento superficial U cujos valores constam na Tabela 1.

<sup>1</sup> Aguiar foi tão importante para o desenvolvimento dos estudos hidrológicos do Nordeste que mantém fãs incondicionais que consideram um desrespeito a substituição da sua fórmula. Entretanto, deve-se considerar a intervenção do homem nas bacias hidrográficas. Uma bacia hidrográfica com diversos açudes já não pode ser vista como algo muito simples. Estudá-las requer os conhecimentos de um especialista em Hidrologia.

Dessa forma, o volume médio escoado em uma bacia hidrográfica pode ser estimado pela relação

$$V_a = (1/1000) \times R_{mm} \times U \times S \quad (2)$$

onde  $V_a$  denota o volume afluente médio anual em metros cúbicos e  $S$  a área da bacia hidrográfica em metros quadrados,  $R_{mm}$  a lâmina anual média escoada na bacia em milímetros e  $U$  fator de correção que introduz fatores geomorfológicos da bacia hidrográfica.

**Tabela 1** Valores do coeficiente de correção do escoamento superficial segundo Aguiar

TIPO	BACIA HIDROGRÁFICA	U
1	Pequena íngreme e rochosa	1,3 e 1,4
2	Bem acidentada sem depressões evaporativas	1,2
3	Média	1,0
4	Ligeiramente acidentada	0,8
5	Idem, com depressões evaporativas	0,7
6	Quase plana, terreno argiloso	0,65
7	Idem, terreno variável	0,6
8	Idem, terreno arenoso	0,5

### Capacidade de um açude segundo Aguiar

Para determinar a capacidade de um açude Aguiar propôs a seguinte metodologia:

- seleciona-se uma série de precipitações anuais na bacia hidrográfica a estudar;
- ordena-se em forma crescente e divide-se a série de chuvas em duas partes: a série de máximas com média  $H_M$  e a série de mínimas com média  $H_m$ ;
- calcula-se, através da fórmula do polinomial, as respectivas lâminas escoadas  $R_M$  e  $R_m$ ;
- calcula-se o volume acumulável multiplicando-se a lâmina das máximas  $R_M$  pela área da bacia hidrográfica;
- calcula-se o volume regularizável multiplicando-se a lâmina das mínimas,  $R_m$ , pela área da bacia hidrográfica.

Aguiar considerou que três fatores determinam a capacidade de um açude: a **intermitência**, o **volume afluente médio** e a **variabilidade dos deflúvios anuais**. Argumenta ele que se todos os anos os deflúvios fossem iguais, um açude com capacidade igual ao deflúvio médio anual seria capaz de reter todas águas do "inverno" para usá-las no verão. A certeza que escoaria um volume  $V_a$  tornaria desnecessário manter um estoque de águas para uso interanual. O afastamento da lâmina média das máximas para média das médias é que efetua a estocagem para compensar a variabilidade interanual. Se dois locais têm o mesmo valor para o deflúvio médio anual, o local de maior variabilidade terá, certamente, um maior valor para a média das máximas e, conseqüentemente, irá requerer uma maior capacidade de acumulação. Em resumo, o método de Aguiar para dimensionamento da capacidade de um açude, embora empírico, apresentava base conceitual.

Campos e Lima (1994), desenvolveram uma equação para determinar analiticamente a capacidade de um açude segundo o método de Aguiar, qual seja:

$$H_M = H + 0,79762s \quad (3)$$

sendo  $H_M$  a média dos valores das chuvas acima da chuva média da amostra e  $s$  o desvio padrão da série de precipitações.

### **A prática do DNOCS**

O DNOCS, como principal e, durante muito tempo único, órgão de projeto e construção de barragens no Nordeste Brasileiro, definiu muitas práticas de projeto para o Semi-Árido. A partir de algum tempo posterior ao trabalho de Aguiar, o DNOCS passou a dimensionar açudes através da seguinte metodologia:

- determinar, pela fórmula do Eng<sup>o</sup> Aguiar, o volume médio anual escoado ao açude ( $V_a$ );
- fazer a capacidade do açude igual a duas vezes o volume afluente anual ( $2V_a$ ).

Nesse ponto houve, para fins de dimensionamento de açudes, uma valorização do lado empírico em detrimento da linha mais conceitual já iniciada pelo trabalho de Aguiar. Caminhou-se, fortemente, em direção à simplicidade. Provavelmente foi essa simplicidade que fez com que essa prática ganhasse imediatamente aceitação e longevidade.

Contudo, não se pode dizer que os resultados da aplicação dessa prática tenham sido danosos ao Nordeste. A observação mostrou que o 2Va resultou em açudes que nem sangram com alta frequência, quase anual (deixam escapar muita água para o mar), nem com baixa frequência, um ano em cada cinco ou mais, (com indícios de superdimensionamento). Pode-se hoje dizer que o 2Va já cumpriu o seu papel. Resta à comunidade técnica agradecê-lo e partir para frente.

Deve-se, todavia, ter em mente que um açude é uma obra de regularização de águas e quem planejá-la sem um competente estudo hidrológico comete o mesmo erro que cometeria quem projetasse uma casa ignorando que ela é feita para ser habitada por pessoas.

### **A história do 2Va**

A prática de dimensionar os reservatórios com capacidade de acumular duas vezes o volume afluente foi por muito tempo atribuída ao Eng Aguiar. Por vezes essa relação empírica era denominada por alguns de fórmula de Aguiar. Contudo não há indícios que essa tenha sido uma recomendação de Aguiar. Há dois motivos:

1. Aguiar desenvolveu sua própria metodologia de dimensionamento que é melhor elaborada que essa relação e tem uma lógica matemática;
2. Não consta nos trabalhos de Aguiar nenhuma recomendação para adotar o 2Va.

Além do mais, Aguiar tinha convicção da importância da variabilidade inter-anual dos deflúvios no processo de dimensionamento. Não há razões para acreditar que Aguiar desenvolveria uma relação desconsiderando essa importante característica do regime dos rios.

Para determinar a verdadeira razão dessa “fórmula” seria necessária uma exaustiva pesquisa nos acervos técnicos do DNOCS. Não há mesmo a certeza que essa pesquisa daria, sem margens de dúvidas, a resposta procurada. O que se sabe é que houve um tempo em que os açudes eram dimensionados segundo a metodologia de Aguiar descrita no início desse Capítulo..Posteriormente o DNOCS passou a adotar a prática do 2Va.

Uma possível explicação da origem da prática do 2Va, vem da história da hidrologia. O *Bureau of Reclamation* tem sido, desde a muito tempo, uma referência mundial em termos de projetos de barragens. Padrões estabelecidos pelo *Bureau* sempre foram respeitados

em todo o mundo e, em conseqüência, indutores de padrões de muitas instituições, incluindo o DNOCS. A barragem mais famosa do “*Bureau*”, a Hoover Dam, foi construída entre os anos de 1930 e 1935, ao US\$ 174.000.000,00, tem capacidade para acumular duas vezes o volume médio anual escoado pelo rio Colorado<sup>2</sup>. É possível e provável que os técnicos do DNOCS tenham adotado esse número como padrão.

Há ainda uma outra possível explicação. Talvez menos provável. Aguiar (1934) dimensionou sete reservatórios no Nordeste (Tabela 2) onde a relação capacidade de acumulação sobre volume afluente anual varia de 1,71 (Açude Piranhas) a 2,48 (Açude Cedro)<sup>3</sup>. O valor médio dessas sete relações é de 2,07. A simplificação de adotar uma relação constante igual a 2,0 é uma possibilidade.

**Tabela 2** Açudes do Nordeste dimensionados por Aguiar pelo método do Engenheiro Aguiar

Açude	U	V <sub>a</sub> (hm <sup>3</sup> )	C (hm <sup>3</sup> )	C/V <sub>a</sub>
Orós	0,70	1719	3000	1,75
Gal. Sampaio	0,80	155	322	2,08
Feiticeiro	1,00	11	25	2,27
Cedro	1,30	27	67	2,48
Pilões	0,80	75	150	2,00
Piranhas	1,00	146	250	1,71
Cruzeta	1,00	37	81	2,19

H = pluviosidade média anual na bacia; H<sub>M</sub> = chuva média das máximas; U = coeficiente de rendimento médio da bacia; V<sub>a</sub> = deflúvio médio anual ao boqueirão; C = volume acumulável pelo açude.

<sup>2</sup> Dados da Compton's Interactive Encyclopedia- Version 2.01VW - !994 Compton's New Media Inc. and its licensors- Compact Disc Digital Data.

<sup>3</sup> Na realidade, na época o açude Cedro já havia sido construído com 126 milhões. Ao estimar o volume recomendável para aquele reservatório em 67 milhões de metros cúbicos, Aguiar detectou osuperdimensionamento do mesmo.