

1966

## ESTIMATION DE L'ÉVAPORATION SUR LES RÉSERVOIRS DE BARRAGES EN RÉGION INTERTROPICALE SEMI-ARIDE

G. GIRARD

(France) (1)

### ABSTRACT

This work was made in the Brazilian north-eastern region.

From pool level observations at nine reservoirs of various storage capacities during about 85 station-years, the author obtained, under the best conditions, a direct estimation of evaporation on free water surface. For the seven dry months without runoff, this evaporation is at least equal to 1 350 mm (54 in.) and has an increase of 25% when the pool depth is falling from 40 m to 4 m.

A close correlation has been found between the direct measured data of evaporation and the floating pans records. From it, evaporation during runoff season was estimated; the annual evaporation reaches about 2 100 mm (84 in.), a value known with a good accuracy (error of about 10 per cent).

### RÉSUMÉ

Cette étude a été exécutée dans le Nord-Est du Brésil (polygone de la sécheresse).

A partir des observations de niveau de 9 réservoirs de diverses capacités durant environ 85 ans au total, l'auteur a pu dans les meilleures conditions estimer directement l'évaporation sur le plan d'eau libre pour les 7 mois de saison sèche sans écoulement. Cette évaporation vaut un minimum 1 350 mm et croît de 25% environ quand la hauteur d'eau retenue diminue de 40 à 4 mètres.

Une corrélation étroite a été observée entre l'évaporation ainsi mesurée sur la retenue et celle d'un bac flottant; elle a permis l'estimation indirecte de l'évaporation en saison des pluies. Le total évaporé annuel qui atteint 2 100 mm est ainsi connu à 10% près.

Pour lutter contre les sécheresses catastrophiques qui sévissent sur l'aire du polygone de la sécheresse couvrant plus d'un million de km<sup>2</sup> dans le Nord-Est du Brésil, une vaste politique d'emménagement des eaux de surface s'est développée depuis un demi-siècle.

Des trois catégories de barrages construits distingués selon leur type de financement: barrages publics, barrages privés, barrages en coopération (dont les promoteurs s'engagent à mettre une partie de l'eau à la disposition de tiers démunis) seuls ceux de la première catégorie ont fait l'objet d'observations hydrologiques suivies et suffisamment complètes pour permettre l'évaluation, au cours de la saison sèche, de l'évaporation directe sur les plans d'eau libre que nous présentons dans cette note.

L'ensemble des barrages du bassin du Jaguaribe (État du CEARA) dont il est parlé dans cette note, se situe entre 4° et 8° de latitude Sud dans une zone soumise à un climat équatorial à une seule saison des pluies qui, courte et sujette à des variations énormes d'une année à l'autre, tend à imprimer au climat un aspect semi-aride dont il est utile de préciser quelques éléments (voir tableau 1) :

- la pluviométrie moyenne de 600 à 800 mm de hauteur annuelle, concentrée sur les mois de janvier à mai, est très irrégulière. Des années de moins de 400 mm de pluviométrie se succédant ne sont pas rares. Il en résulte une irrégularité plus prononcée des lames écoulées. Le rapport des déciles varie de 20 à 70 pour ces lames;

<sup>1</sup> Maître de Recherches à l'ORSTOM.

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence

no 2645

13 DEC. 1968

TABLEAU I

*Aperçu climatologique de la région*

| Mois      | Station d'Iguatu |       |       |             |             |             |                                    | Station Quixeramobim                           |
|-----------|------------------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|------------------------------------|--|
|           | P<br>mm          | $T_x$ | $T_n$ | U%<br>12 h. | U%<br>18 h. | U%<br>24 h. | Nombre<br>d'heures<br>d'insolation | Evaporation<br>sur bac de<br>classe A<br>en mm |
| Janvier   | 59               | 34,1  | 24,2  | 70          | 45          | 61          | 221                                | 207  |
| Février   | 134              | 33,6  | 23,8  | 75          | 52          | 70          | 175                                | 177  |
| Mars      | 197              | 31,3  | 23,2  | 83          | 61          | 82          | 197                                | 164  |
| Avril     | 160              | 31,4  | 22,9  | 78          | 58          | 81          | 210                                | 149  |
| Mai       | 61               | 32,0  | 22,9  | 74          | 52          | 76          | 246                                | 143  |
| Juin      | 27               | 32,8  | 22,1  | 67          | 49          | 67          | 242                                | 170  |
| Juillet   | 9                | 32,3  | 21,3  | 64          | 40          | 58          | 271                                | 181  |
| Août      | 4                | 33,5  | 22,1  | 59          | 37          | 52          | 297                                | 238  |
| Septembre | 6                | 34,7  | 22,6  | 58          | 34          | 49          | 286                                | 262  |
| Octobre   | 10               | 35,6  | 23,5  | 55          | 35          | 47          | 284                                | 318  |
| Novembre  | 12               | 36,0  | 23,9  | 57          | 35          | 47          | 263                                | 277  |
| Décembre  | 33               | 35,7  | 24,5  | 62          | 37          | 50          | 253                                | 266  |

- les températures moyennes oscillent entre 25° et 28° et présentent un maximum en décembre et un minimum en juin-juillet;
- les humidités relatives présentent un maximum en mars et un minimum en octobre;
- les évaporations mesurées sur bac de classe «A» suivent les mouvements annuels de l'humidité et de la température de l'air mais sont influencées par divers facteurs climatiques;
- le vent d'«Aracati», ou circulation mer-terre, est particulièrement intense et régulier dans les grandes vallées principalement au cours de la saison sèche.

C'est à partir des données hydrologiques recueillies et en évaluant les différents termes du bilan hydraulique des retenues que nous pourrions chiffrer l'évaporation de la surface libre.

Après avoir défini tous les termes du bilan hydraulique d'une retenue nous écrirons que le volume des apports est égal, pendant un temps donné, à la variation du volume du réservoir augmenté du volume utilisé, du volume perdu et du volume déversé.

Le volume des apports pendant un temps déterminé est représenté par la somme des apports propres du bassin versant *exondé* situé en amont de la digue et des apports pluviométriques directs sur la retenue variable selon le niveau moyen de celle-ci et la hauteur de pluie moyenne enregistrée.

La variation du volume du réservoir se détermine à partir des mesures de niveau d'eau et de la courbe hauteur-volume établie à partir des relevés topographiques effectués avant la mise en eau.

Le volume utilisé soit pour l'irrigation, soit pour les usages domestiques est mesuré simplement par les services utilisateurs. Le volume déversé est mesuré par les services hydrologiques.

Le volume perdu se compose des volumes d'eau évaporés sur la retenue, des volumes infiltrés à travers la digue ou sous ses assises, des volumes infiltrés dans les couches profondes de la retenue et des volumes perdus occasionnellement (fuites de vannes, défectuosité de construction, etc...).

Dans cette région du Nord-Est du Brésil, il s'avère que les niveaux d'eau des retenues sont observés systématiquement chaque jour ainsi que les précipitations depuis la date de la construction des digues. Il n'en est pas de même pour les évaluations des volumes d'eau utilisés qui ne font l'objet de mesures que depuis 10 ans seulement, sauf pour la retenue de Lima Campos où les données remontent à 1935. Bien souvent les observations ont été faites, puis soigneusement archivées mais restent actuellement introuvables.

Quant aux mesures des apports propres du bassin versant il n'en existe aucune. Elles présenteraient d'ailleurs certaines difficultés pour des bassins d'alimentation de faible superficie (moins de 400 km<sup>2</sup> dont le 1/20<sup>e</sup> ou 1/50<sup>e</sup> fait partie de la retenue).

La détermination du terme volume perdu comprenant le terme évaporation ne sera donc possible qu'en période de non écoulement. Pour de grands bassins versants supérieurs à 4 000 km<sup>2</sup> la date de cessation d'écoulement oscille entre le 1<sup>er</sup> juillet et le 31 août; pour des bassins plus petits, le tarissement est plus précoce et, dès le 15 mai en année moyenne, l'écoulement cesse.

De la cessation des écoulements à la date de reprise de ceux-ci nous évaluerons le terme évaporation + infiltration à partir de l'équation en volume du bilan hydraulique de chaque retenue.

Précipitation = variation de volume + irrigation + évaporation + infiltration ou en hauteur :

$$P = \Delta H + \frac{\text{volume irrigation}}{\text{surface moyenne}} + \left( E + \frac{\text{volume infiltration}}{\text{surface moyenne}} \right)$$

pour ce même temps.

Compte tenu que les variations  $\Delta H$  du niveau sont connues à  $\pm 2,5$  cm (les observations par interpolations étant faites sur des échelles mi-décimétriques inclinées), nous obtiendrons une précision relative sur la valeur du terme  $(E + \text{infiltration})$  d'autant plus grande que le temps sera pris long. Aussi, prendrons-nous le mois comme unité de temps.

Nous adopterons comme précipitation moyenne sur la retenue les précipitations mesurées en un seul point, près de la digue.

Le volume destiné à l'irrigation et aux usages domestiques rapporté à la superficie moyenne de la retenue entre les cotes  $H$  et  $H + \Delta H$ , fournira la tranche d'eau utilisée.

Le terme résiduel :  $\frac{\text{volume infiltré}}{\text{surface moyenne}}$  reste souvent inconnu pour tous les barrages.

Cependant, nous sommes assurés :

— que les infiltrations profondes dans la retenue ne peuvent exister du fait de la présence d'un substratum cristallin (granites, gneiss, schistes);

- que les infiltrations à travers la digue restent négligeables. Elles ne peuvent dépasser plus de 1 l/s sans être réellement visibles au pied des digues. Elles représentent au maximum une tranche mensuelle de 3 mm pour une retenue de superficie de 1 000 000 de m<sup>2</sup> ou pour une superficie plus grande;
- que les infiltrations sous les assises de la digue sont très souvent appréciables dans le cas de retenues anciennes. La végétation luxuriante en aval de la digue est le témoin irréfutable d'une infiltration permanente dont la détermination poserait des problèmes hors de notre champ d'action. Toutefois, une estimation très grossière peut être obtenue en évaluant par mois le volume de l'ETP sur toute la zone luxuriante située en aval, parfaitement définie en saison sèche. Nous obtenons, dans ce cas, pour une zone de 10 ha visible, une tranche d'eau de 15 mm;
- que les pertes accidentelles et les pertes aux vannes sont chiffrables si elles sont remarquées.

L'existence de ce terme résiduel, associé au terme évaporation, doit rester présente à l'esprit. S'il est relativement de faible valeur pour les retenues publiques de grandes dimensions dont les caractéristiques sont groupées dans le tableau II, il atteint parfois l'ordre de grandeur de l'évaporation pour de petites retenues privées dont l'étanchéité de la digue laisse à désirer compte tenu des matériaux tout venant utilisés et de leur mise en place sans humidification ni compactage.

**TABLEAU II**  
*Caractéristiques des retenues étudiées*  
*Bassin du Jaguaribe — Nord-Est du Brésil*

| Nom du barrage        | Volume en 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> | Profondeur maximale (en m) | Surface maximale (km <sup>2</sup> ) |
|-----------------------|--|----------------------------|-------------------------------------|
| Cedro                 | 125                                      | 15,3                       | 21,2                                |
| Lima Campos           | 58                                       | 15,5                       | 14,9                                |
| Sto Antonio de Russas | 30                                       | 10,5                       | 8,7                                 |
| Joaquim Tavora        | 24                                       | 14                         | 5,7                                 |
| Choro                 | 144                                      | 20,5                       | 18,8                                |
| Caxitore              | 202                                      | 23                         | 22,5                                |
| Quixeramobim          | 54                                       | 21                         | 9,6                                 |
| Poco da Pedra         | 52                                       | 18                         | 10,6                                |
| Nova Floresta         | 7,6                                      | 11                         | 5,0                                 |

Ainsi 40% en moyenne du nombre total des retenues sur le sous-bassin versant témoin du Jaguaribe présentent des baisses de niveau de 2 500 mm à 3 500 mm au cours des sept mois de la saison sèche; les eaux utilisées ne représentent, en volume,

TABLEAU III

*Évaporation déterminée : Acude Cedro (en mm)*

| Année | Mai     | Juin    | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Novembre | Décembre | Janvier | Février | Juin à<br>Décembre |
|-------|---------|---------|---------|------|-----------|---------|----------|----------|---------|---------|--------------------|
| 1919  |         |         | 223     | 254  |           |         |          |          |         |         |                    |
| 1925  |         |         |         |      |           |         |          |          | 292     | 214     |                    |
| 1926  |         |         | 276     | 248  | 152       | 352     | 250      | 154      |         |         | 1 602              |
| 1928  |         |         |         | 182  | 300       |         |          |          |         |         |                    |
| 1933  |         | 170     | 175     | 210  | 250       | 259     | 206      | 200      |         |         | 1 440              |
| 1934  |         | (165)   | 219     | 181  | 204       | 238     | 194      | 139      |         |         | 1 340              |
| 1935  |         |         |         | 186  | 251       | 235     | 189      | 267      |         |         |                    |
| 1936  |         | (149)   | 155     | 233  | 219       | 250     | 208      | 254      | 221     |         | 1 468              |
| 1937  |         |         | 180     |      |           |         |          |          | 231     |         |                    |
| 1938  |         | (173)   | 209     | 224  | 235       | 253     | 280      | (203)    | 188     | 203     | 1 577              |
| 1939  |         | 176     | (193)   | 185  | 289       | 234     | 269      | (299)    | (190)   |         | 1 645              |
| 1957  |         | 115     | 109     | 161  | 176       | 351     | 293      | 284      |         |         | 1 489              |
| 1962  |         | 192     |         |      |           |         |          |          | 230     | 192     |                    |
| 1963  |         | 163     | 198     | 207  | 219       | 233     | 219      | 241      | 255     |         | 1 480              |
| 1964  | ((150)) | ((155)) | ((160)) | 170  | 178       | 197     | 186      | 181      |         |         | 1 227              |
| 1965  |         |         |         |      |           |         |          |          | 178     | 147     |                    |

(( )) — Estimation.

( ) — Extrapolation de période connue.

TABLEAU III (suite)  
Évaporatio liman campos (en mm)

| Année | J   | F      | M     | A     | M     | J      | J      | A      | S   | O   | N   | D     | Juin à<br>Décembre |
|-------|-----|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-----|-----|-----|-------|--------------------|
| 1934  |     |        |       |       |       |        |        |        | 223 | 250 |     |       |                    |
| 1935  |     |        |       |       |       | 135    | 160    | 218    | 203 | 207 | 227 | 244   | 1 404              |
| 1936  | 178 |        |       |       |       | 138    | 200    | 188    | 226 | 237 | 207 | 216   | 1 412              |
| 1937  |     |        |       |       |       | 173    | 186    | 209    | 219 | 238 | 229 | 239   | 1 493              |
| 1939  |     |        |       |       |       | 170    | 187    | 216    | 194 | 164 | 198 | (265) | 1 394              |
| 1940  | 182 |        |       |       |       | - 140) | 174    | 207    | 216 | 237 | 238 | 235   | 1 447              |
| 1947  | 160 |        |       |       |       | 181    | 180    | 203    | 216 | 261 |     |       |                    |
| 1948  | 179 | 191    |       |       |       | 169    | - 190) | - 203) | 205 | 265 | 258 | 238   | 1 528              |
| 1949  | 219 |        |       |       |       | 174    | 207    | 255    | 251 | 294 | 249 | 236   | 1 666              |
| 1957  | 156 | 220    | (148) | (153) | 183   | 235    | 201    | 205    | 236 | 295 | 264 | 169   | 1 604              |
| 1958  | 189 | 160    | 206   | 212   | (160) | 212    | 203    | 265    | 320 | 346 | 312 | 232   | 1 890              |
| 1959  | 207 |        |       |       |       | 174    | 237    | 220    | 282 | 317 | 290 | 302   | 1 822              |
| 1960  | 251 | 175    |       |       | 176   | 179    | 222    | 246    | 224 | 280 | 225 | 221   | 1 597              |
| 1961  | 199 |        |       |       |       | 174    | 208    | 238    | 257 | 311 | 293 | 254   | 1 735              |
| 1962  |     | - 198) |       |       |       | 162    | 194    | 243    | 233 | 270 | 247 | 236   | 1 585              |
| 1963  | 223 |        |       |       |       | 180    | 213    | 228    | 241 | 297 | 227 | 215   | (1 601)            |

- ) Chiffre à confirmer.

( ) Extrapolation de période connue.

que quelques % de cette perte. Pour toutes ces retenues, la hauteur d'eau maximale reste voisine de 3 à 4 mètres.

Les valeurs mensuelles ainsi calculées de l'évaporation sont données pour les açudes Cedro et Lima Campos (tableau III).

Très souvent le terme eau utilisée était inconnu. Pour augmenter le nombre de déterminations de l'évaporation sur la période de 7 mois, nous avons eu recours à certaines hypothèses de calcul dans chaque cas particulier.

1) *Açude Choro* : évaluation de la quantité d'eau de consommation courante et évaluation de la fuite d'eau permanente par un orifice sont les deux seules sources d'erreurs introduites dans les calculs.

Cette vidange permanente et la consommation courante représentent à la suite de nos calculs et mesures, une tranche d'eau pour la période déterminée variable de 45 à 77 mm soit environ 5% de l'évaporation observée.

2) *Açude Sto Antonio de Russas* : sachant que la quantité d'eau utilisée est en général faible, cette tranche sera minimale à retenue pleine et l'évaporation sera appréciée par valeur supérieure. Nous avons retenu les années à détermination exacte : 1957-1963, les années à utilisation extrêmement faible : 1930 à 1948 et les années pour lesquelles un déversement a eu lieu.

3) *Açude Nova Floresta et Açude Joaquim Tavora* : on admet que l'irrigation exprimée en volume et la hauteur d'eau évaporée pendant la période restent constantes d'une année à l'autre, ce qui se vérifie assez souvent. Il en résulte que les hauteurs d'eau utilisées sont dans le rapport inverse des surfaces moyennes de la retenue pour ces deux années. En fait, nous avons, par ce moyen, recherché une méthode d'évaluation du volume moyen utilisé afin de retrouver une valeur approchée de l'évaporation. Méthode satisfaisante puisque les plus fortes évaporations sont observées pour les années les plus sèches connues.

A l'examen du tableau IV résumant toutes les données obtenues, nous constatons une dispersion notable :

— à *Choro* pour la période 1934-1963, 90% des évaporations, représentant une moyenne de 1 410 mm, sont comprises dans l'intervalle  $\pm 6\%$  (1 310-1 490 mm);

— à *Nova Floresta* sur 28 années, 90% des évaporations représentant une moyenne de 1 410 mm sont comprises dans l'intervalle  $\pm 12\%$  (1 300-1 660 mm).

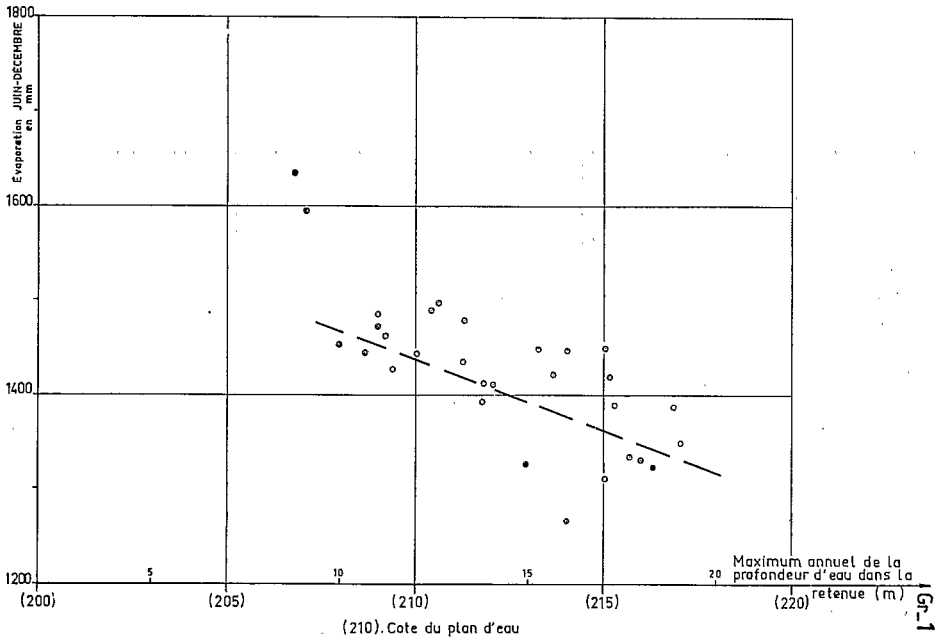
Les quelques valeurs considérées comme anormales ont été rejetées lors de ces déterminations. Nous devons regretter que les déterminations par bilan soient nettement plus élevées que les valeurs estimées par excès, ce qui indique une sous-estimation des quantités d'eau utilisées (açude Sto Antonio de Russas, açude Lima Campos).

Par contre, les graphiques 1 et 2 présentant les évaporations calculées ou estimées en fonction de la profondeur d'eau maximale de la retenue au cours de l'année considérée, montrent la tendance réelle de l'augmentation de l'évaporation lorsque la hauteur d'eau diminue. Cette tendance sensible est confirmée par le fait que, pour les grandes retenues : Quixeramobim, Oros, Caxitore, Poço da Cruz, nous obtenons des valeurs inférieures (1 270 à 1 360 mm : moyennes établies sur deux ou trois années). (Voir tableau V)

Si la valeur de l'évaporation globale calculée pour la période juin à décembre semble atteindre une valeur inférieure de 1 350 mm  $\pm$  50 mm pour les grandes retenues et certaines retenues à formes particulièrement ramassées : Açude Arace, Açude Poço da Pedra, elle peut croître et atteindre des valeurs de 1 600 à 1 800 mm lorsque la profondeur maximale en eau diminue et se situe vers 4 m. Dans ce cas, le terme résiduel est de l'ordre de 100 mm.

Outre les influences de divers facteurs climatiques tels que l'altitude, l'humidité, la ventilation que nous n'étudierons pas, il est certain que l'influence de la profondeur

### ALBUFERÇA CHORO



### ALBUFERÇA S.º ANTONIO DE RUSSAS

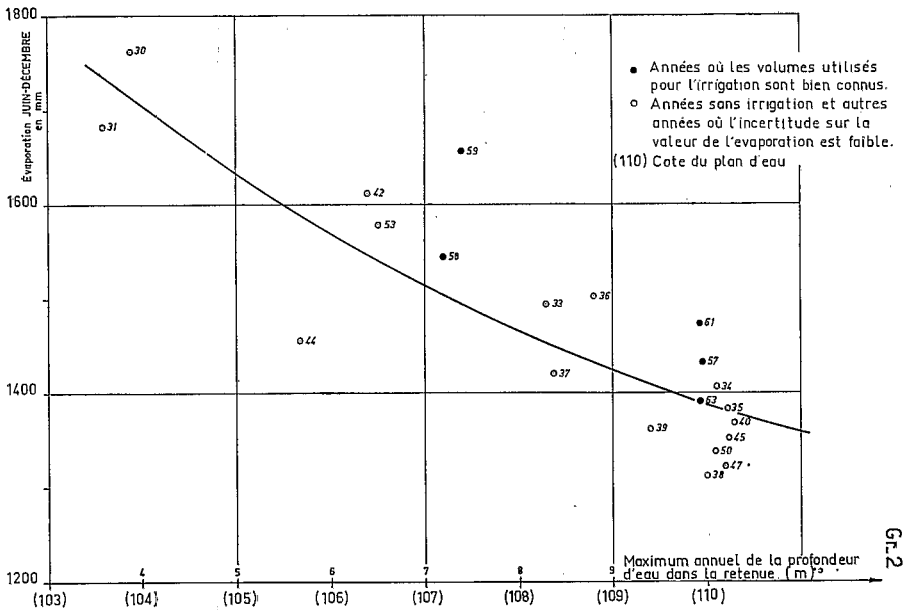




TABLEAU IV

Évaporation sur retenue — Période juin-décembre (en mm)

| Année | Aç. Cedro | Aç. Lima Campos | Aç. Santo Antonio de Russas * | Aç. Joaquim Tavora | Aç. Choro * | Aç. Nova Floresta * | Aç. Caxitore | Aç. Quixeramobim | Aç. Poco de Pedra |
|-------|-----------|-----------------|-------------------------------|--------------------|-------------|---------------------|--------------|------------------|-------------------|
| 1933  | 1440      |                 | 1494                          |                    |             |                     |              |                  |                   |
| 1934  | 1340      |                 | 1406                          |                    | 1268        |                     |              |                  |                   |
| 1935  |           | 1404            | 1384                          |                    | 1310        | 1402                |              |                  |                   |
| 1936  | 1468      | 1412            | 1502                          |                    | 1352        | 1406                |              |                  |                   |
| 1937  |           | 1493            | 1420                          |                    | 1332        | 1435                |              |                  |                   |
| 1938  | 1577      |                 | 1312                          |                    | 1391        | 1604                |              |                  |                   |
| 1939  | 1645      | 1394            | 1363                          |                    | 1335        | 1406                |              |                  |                   |
| 1940  |           | 1447            | 1368                          |                    | 1321        | 1360                |              |                  |                   |
| 1941  |           |                 |                               |                    | 1421        | 1578                |              |                  |                   |
| 1942  |           |                 | 1612                          |                    | 1450        | 1500                |              |                  |                   |
| 1943  |           |                 |                               |                    | 1479        | 1566                |              |                  |                   |
| 1944  |           |                 | 1456                          |                    | 1445        | 1349                |              |                  |                   |
| 1945  |           |                 | 1352                          |                    | 1392        | 1352                |              |                  |                   |
| 1946  |           |                 |                               |                    | 1436        | 1297                |              |                  |                   |
| 1947  |           |                 | 1313                          |                    | 1324        | 1221                |              |                  |                   |
| 1948  |           | 1528            |                               |                    | 1413        | 1392                |              |                  |                   |
| 1949  |           | 1666            |                               |                    | 1490        | 1448                |              |                  |                   |
| 1950  |           |                 | 1338                          |                    | 1420        | 1326                |              |                  |                   |
| 1951  |           |                 |                               |                    | 1412        | 1491                |              |                  |                   |
| 1952  |           |                 |                               |                    | 1496        | 1630                |              |                  |                   |
| 1953  |           |                 |                               |                    | 1464        | 1592                |              |                  |                   |
| 1954  |           |                 |                               |                    | 1448        | 1652                |              |                  |                   |
| 1955  |           |                 |                               |                    | 1444        | 1495                |              |                  |                   |
| 1956  |           |                 |                               |                    | 1428        | 1460                |              |                  |                   |
| 1957  | 1489      | 1604            | 1429                          | 1591               | 1483        | 1547                |              |                  |                   |
| 1958  |           | 1890            | 1544                          | 1631               | 1596        | 1660                |              |                  |                   |
| 1959  |           | 1822            | 1657                          |                    | 1628        | 1477                |              |                  |                   |
| 1960  |           | 1597            | 1659                          | 1571               | 1470        | 1513                |              |                  | 1305              |
| 1961  |           | 1735            | 1473                          | 1502               | 1406        | 1466                | 1340         | 1317             | 1350              |
| 1962  |           | 1585            | 1444                          | 1409               | 1449        | 1360                | 1363         |                  | 1295              |
| 1963  | 1480      | 1601            | 1301                          | 1401               | 1390        |                     | 1440         | 1302             | 1278              |
| 1964  | 1227      |                 |                               |                    |             |                     |              | 1300             | 1240              |

(\*) — par évaluation sauf 1957 — 1963 Aç. Sto Antonio de Russas.

TABLEAU V

*Évaporation sur retenue (juin-décembre) en fonction de la profondeur maximale d'eau*

| Açude        | Evaporation (mm) | Profondeur (m) |
|--------------|------------------|----------------|
| Quixeramobim | 1 300            | 21             |
| Oros         | 1 330            | 40             |
| Caxitore     | 1 360            | 21             |
| Poco da Cruz | 1 270            | 37             |

| Hauteur maximale de l'eau | Profondeur (m) |         |         |       |       |       |
|---------------------------|----------------|---------|---------|-------|-------|-------|
|                           | 18 m           | 14 m    | 10 m    | 8 m   | 6 m   | 4 m   |
| Açude Choro (*)           | (1 360)        | (1 410) | (1 460) |       |       |       |
| Nova Floresta             |                |         | 1 370   | 1 480 |       |       |
| Sto Antonio de Russas     |                |         | 1 380   | 1 460 | 1 560 | 1 700 |
| Lima Campos               |                | 1 410   |         |       |       |       |
| Arace                     |                |         | 1 360   |       |       |       |

(\*) Détermination approchée.

d'eau de la retenue reste un facteur secondaire non négligeable pour des retenues de moyenne et petite importance puisqu'il intègre dans notre cas l'influence des facteurs climatiques sur plusieurs années.

#### ÉVAPORATION MESURÉE SUR BAC FLOTTANT

De toutes les données recueillies sur bac flottant (bac de 1 m<sup>2</sup> de section placé généralement à proximité de la digue) et consignées dans le tableau VI, il ressort que l'évaporation au cours de la période juin — décembre présente des écarts relatifs beaucoup plus faibles que ceux de l'évaporation au cours de la saison des pluies. Ceci traduit la variabilité interannuelle du climat en cette saison.

Le coefficient K de passage de l'évaporation moyenne au cours de la saison sèche à l'évaporation annuelle oscille entre 1,48 et 1,60 avec 1,57 comme valeur la plus fréquente. L'évaporation moyenne annuelle varie de 2 080 mm à 2 380 mm selon les régions.

Les mesures simultanées de l'évaporation sur bac flottant et sur retenue (tableau VII) permettent de chiffrer le coefficient de passage d'une évaporation à l'autre. Nous nous contenterons des valeurs «bac» (désignées par «A» puisque contrôlées) pour estimer ce coefficient qui, pour Choro, est sensiblement égal à 1 et, pour Lima Campos, supérieur à 1. La large cuvette de la retenue de Lima Campos est responsable de la forte évaporation sur la retenue. Les facteurs climatiques s'excluent dans la comparaison bac-retenu. Il est tout à fait normal que l'évaporation près de la digue soit inférieure à l'évaporation moyenne de la retenue.

TABLEAU VI

*Évaporation sur bac flottant (en mm)*

| Açude            | Période janvier — mai |                             |                 | Période juin — décembre |                             |                 | Année   |      |                 | Nombre d'années d'observations |
|------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------|---------|------|-----------------|--------------------------------|
|                  | Moyenne               | Ecart maximal $\varepsilon$ | $\varepsilon\%$ | Moyenne                 | Ecart maximal $\varepsilon$ | $\varepsilon\%$ | Moyenne | K    | $\varepsilon\%$ |                                |
| Cédro            | 782                   | 146                         | 19              | 1 354                   | 97                          | 7               | 2 136   | 1,58 | 8,8             | 9                              |
| Choro            | 755                   | 218                         | 29              | 1 362                   | 114                         | 8               | 2 117   | 1,56 | 14,6            | 8                              |
| Limá Campos A    | 869                   | 101                         | 12              | 1 516                   | 106                         | 7               | 2 385   | 1,57 | 7,3             | 7                              |
| Lima Campos B    | 826                   |                             |                 | 1 374                   | 236                         | 17              | 2 200   | 1,60 |                 | 9                              |
| Joaquim Tavora   | 669                   |                             |                 | 1 409                   |                             |                 | 2 078   | 1,48 |                 | 2                              |
| Riacho do Sangue |                       |                             |                 | 1 410                   |                             |                 | 2 199   | 1,56 |                 | 5                              |
| Forquilha A ...  |                       |                             |                 | 1 497                   |                             |                 | 2 283   | 1,53 |                 | 9                              |
| B ...            | 800                   | 366                         | 45              | 1 534                   | 128                         | 8               | 2 334   | 1,52 | 21              | 7                              |

TABLEAU VII

Comparaison entre l'évaporation sur bac flottant et sur retenue pour la période juin — décembre (en mm)

| Lima Campos |       |       | Cédro |       |       | Choro     |         |       |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|---------|-------|
| Année       | Bac   | Açude | Année | Bac   | Açude | Année     | Bac     | Açude |
| Période A   |       |       |       |       |       |           |         |       |
| 1934        | 1 431 | 1 333 | 1938  | 1 341 | 1 577 | 1938      | 1 288   | 1 391 |
| 1935        | 1 328 | 1 404 | 1939  | 1 315 | 1 645 | 1939      | 1 314   | 1 335 |
| 1936        | 1 357 | 1 412 |       |       |       | 1940      | 1 330   | 1 321 |
| 1937        | 1 379 | 1 493 |       |       |       | 1941      | 1 392   | 1 421 |
| 1939        | 1 342 | 1 394 |       |       |       | 1942      | 1 394   | 1 450 |
| 1940        | 1 310 | 1 447 |       |       |       | 1943      | 1 402   | 1 479 |
| 1941        | 1 271 | 1 587 |       |       |       |           |         |       |
| Période B   |       |       |       |       |       |           |         |       |
| 1947        | 1 514 | 1 440 |       |       |       | 1944      | (1 142) | 1 445 |
| 1948        | 1 530 | 1 528 |       |       |       | 1945      | (1 137) | 1 392 |
| 1949        | 1 644 | 1 666 |       |       |       | 1946      | (1 183) | 1 436 |
| Moyenne A   | 1 345 | 1 435 |       |       |       | Moyenne A | 1 363   | 1 399 |
| Moyenne B   | 1 563 | 1 545 |       |       |       | Moyenne B | (1 154) | 1 424 |
| Moyenne     | 1 400 | 1 471 |       |       |       |           |         |       |

Si nous ne pouvons chiffrer exactement le coefficient de passage, tout de même voisin de 1, nous sommes assurés que le rapport entre les évaporations des périodes juin — décembre et janvier — mai est identique pour le bac flottant ou la retenue. Le coefficient K, précédemment défini, prend toute sa valeur pour l'évaluation de l'évaporation annuelle sur une retenue.

L'évaporation annuelle d'une nappe d'eau de très grande superficie ou d'une retenue à profondeur médiane élevée (vallée encaissée) reste voisine de 1 350 mm  $\times$  1,57 soit 2 120 mm et reste comprise entre 2 040 et 2 200 mm.

Pour des retenues de plus petites dimensions ou de profondeur médiane faible (large cuvette) l'évaporation annuelle s'accroît sensiblement pour atteindre 2 500 à 2 700 mm lorsque la profondeur maximale est de l'ordre de 4 mètres.

Dans les cas de retenues de petites dimensions, le terme résiduel devenant très important, nous limiterons la valeur de l'évaporation à la valeur obtenue sur des bacs de classe «A» représentant, en quelque sorte, la limite supérieure de l'évaporation d'une petite retenue. Toutefois, l'étanchéité de ces retenues devrait être parfaite ce qui, malheureusement est très rare pour l'ensemble des retenues étudiées dans le Val du Jaguaribe.