

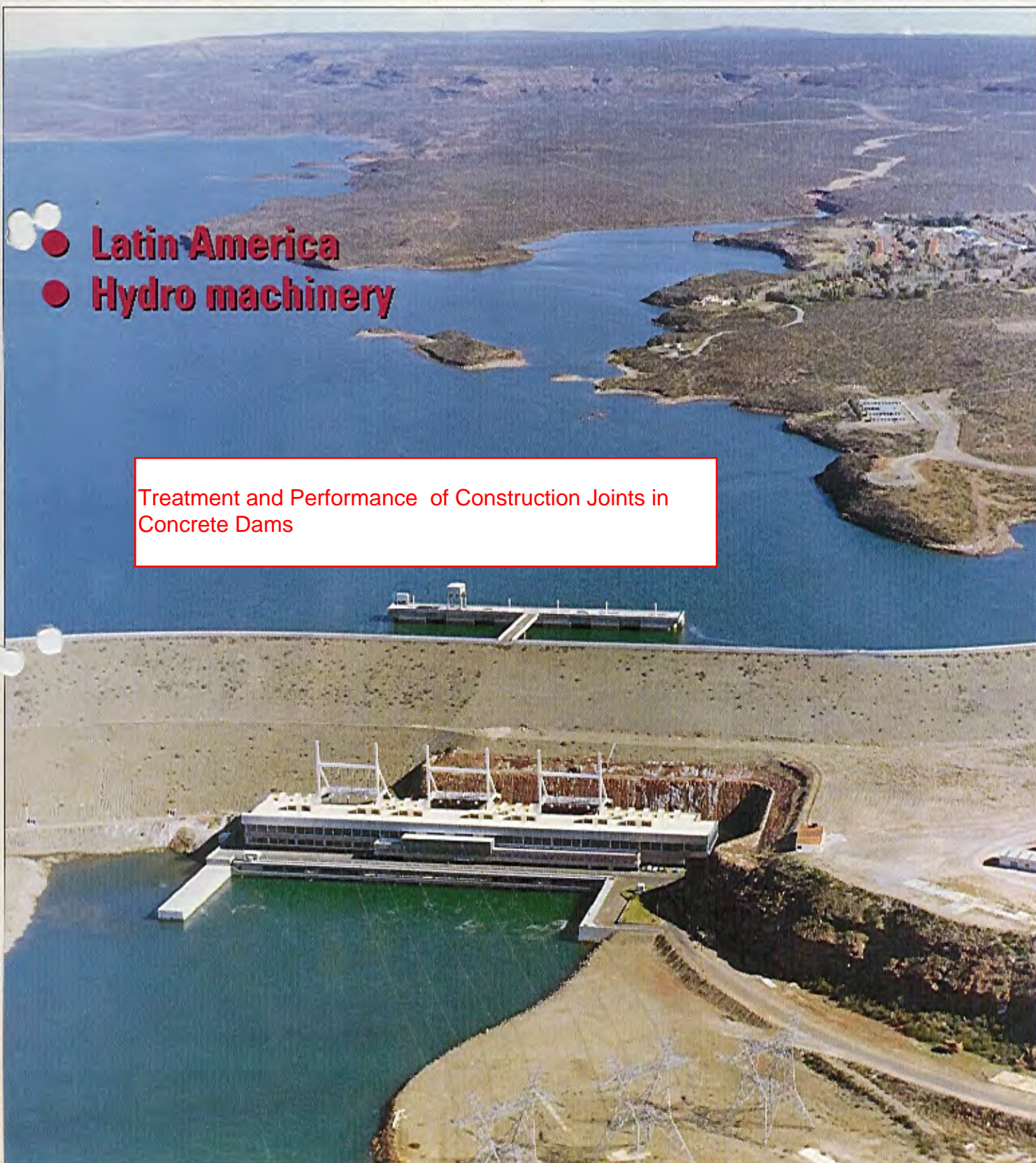
INTERNATIONAL **Water Power** & DAM CONSTRUCTION

A REED BUSINESS PUBLICATION

NOVEMBER 1993

- **Latin America**
- **Hydro machinery**

Treatment and Performance of Construction Joints in
Concrete Dams



Treatment and performance of construction joints in concrete dams

W. A. Pacelli, F. R. Andriolo and G. S. Sarkaria,

Chief of Quality Control and Research Department*, Consultant** and Consultant***

A typical construction joint in a mass concrete dam is the horizontal surface of existing concrete which has become so rigid that newly placed concrete cannot be integrally incorporated with it. Such construction joints are sometimes called "lift joints" or "cold joints". Since it is impractical to place concrete continuously in the entire body of a large dam without lengthy interruptions, the formation of some construction joints is unavoidable. Even in roller compacted concrete (RCC) construction, if the elapsed time between lifts is excessive, construction joints can occur.

Necessity of joint treatment

Ideally, mass concrete in a dam body should be monolithic. A construction joint, whether planned or unexpected, if untreated, can become a discontinuity or a plane of weakness in the concrete mass.

External and internal loads, including those due to temperature changes, imposed against a monolithic concrete dam, are distributed throughout its entire body and transferred to its foundation and abutments by its elastic response. This structural response results in deformations and stresses caused by flexure, transverse shear, compression and tension. In an arch or three-dimensionally monolithic gravity dam, torsional and longitudinal shears also occur. Thus a typical horizontal construction joint would be subjected to stress combinations comprising horizontal

shear, flexural tension and compression (Fig.1). Near the upstream face the joint will also be subjected to internal hydraulic pore pressures, possibly of greater magnitude and over a larger area than in the adjoining concrete.

A construction joint cannot fully transmit these stresses from one part of the concrete to the other, unless its effective bond, flexural, tensile and shear strengths are greater than the corresponding stresses. Frictional resistance alone is not sufficient to ensure monolithicity at an untreated construction joint, because without an adequate bond it will tend to open at the upstream face, and the pressure of water into the open joint will further increase the tensile stresses at the joint.

Another consideration is the permeability of the untreated construction joint, which is likely to be much higher than that of the concrete. The undesirable consequences of a highly permeable construction joint can be several:

- increase in uplift pressure;
- opening of the joint and loss of bond;
- leaching out of lime and other cementing compounds;
- increase in risk of a deleterious alkali-aggregate or alkali-silica reaction; and,
- penetration by cold water can start or extend cracks.

In the long term it can weaken the concrete, alter the distribution of stresses in the structure, impair its stability and require strengthening and rehabilitation.

Therefore, it is necessary to prepare, clean and treat each construction joint before placing a new concrete lift, in such a manner that the joint would have adequate bond and shear strength to assure integral elastic behaviour of the entire concrete structure.

Typical requirements for joint treatment

Typical specifications or requirements for the clean-up of construction joints in preparation for placement of new concrete, require the removal of all loose, flaky, unsound fragments of concrete, sand, oily or organic materials, sealing compounds, deleterious coatings and other foreign or defective materials. Immediately prior to placement of concrete, the surface of the construction joint should be clean and damp.

The ACI Manual of Concrete Practice (Sec 4.3.2)¹ provides the following general guidelines:

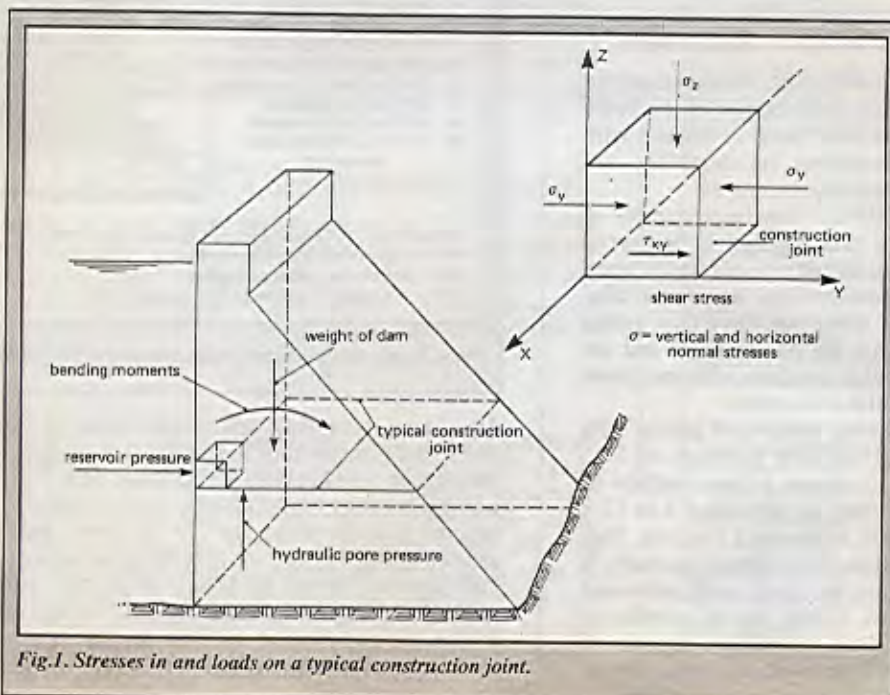


Fig.1. Stresses in and loads on a typical construction joint.

Water Power & Dam Construction November 1993



Andriolo Ito
Engenharia

Andriolo Ito Engenharia SC Ltda- CGC: 00.391.724/0001-03
Rua Cristãndia 181- 05465-000- São Paulo- Brasil
Fone: ++55-11- 3022 5613 Fax: ++55-11- 3022 7069
e-mail: fandrio@attglobal.net site: www.andriolo.com.br

"Efficient and best preparation of horizontal joint surfaces begins with the activities of topping out the lift. The surface should be left free from protruding rock, deep footprints, vibrator holes and other surface irregularities.

In general, the surface should be relatively even with a gentle slope for drainage. This slope makes the clean-up easier. As late as is feasible, but prior to placement of the next lift, surface film and contamination should be removed to expose a fresh, clean mortar and aggregate surface. Overcutting to deeply expose aggregate is unnecessary and wasteful of good material.

Strength of bond is accomplished by cement grain, not by protruding coarse aggregate. Usually, removal of only about 2 mm of inferior material will reveal a satisfactory surface."

While removal of all objectionable material implies satisfactory cleanliness of the joint surface, specifications rarely include standards for judging its roughness, resulting in disputes about the adequacy of joint preparation or treatment methods.

Sometimes there is also confusion about the definition of objectionable and deleterious materials, such as a fine film of crystalline calcium carbonate which strongly adheres to the concrete surface. Any material which is compatible with Portland Cement and its cementation and setting process, or does not impair the strength, permeability or durability of the concrete should not have to be removed.

Methods of joint treatment

To obtain a monolithic bond, adequate shear strength and watertightness, the joint surface must be properly prepared as follows^{2,3}:

- The joint surface must be composed of sound concrete that was not too wet or over-vibrated.
- Protruding large aggregate should be pushed down flush with the joint surface before the mortar has hardened.
- After the final setting of concrete, the joint surface should be cleaned and roughened either by mechanical means, wet sandblasting, green cutting, high pressure waterblasting, or a combination thereof.

The following methods of construction joint treatment are currently employed in the construction of concrete dams:

- **Mechanical Method.** Large rotary wire brushes mounted on rubber-tyred equipment have been employed on some smaller dams. This method is sometimes combined with low-pressure water jet green cutting. Its suitability and cost-effectiveness for large dams is questionable.
- **Wet sandblasting.** Employed on a very large number of dams throughout the world, this method is preferred because of its dependability in obtaining uniformity good results². Also, it can be performed at any age of the concrete. However, the method is more expensive than green-cutting or waterblasting, and has the disadvantage that the disposal of sand after the clean-up interferes with and slows down other construction activities.
- **Greencutting.** It consists of early removal of mortar with an air-water jet at the relatively low pressure of 5 to 20 Kgf/cm² (0.5 to 2 MPa), to expose a clean surface of sound concrete. Greencutting must be performed 4 to 12 h after placement, as the concrete approaches final set. This method has the disadvantage that, if performed too early, it can loosen aggregate and remove too much good and sound mortar and cement paste. Also, it may not be possible to preserve the initially clean surface and prevent deposits of contaminants until fresh concrete is placed on it several

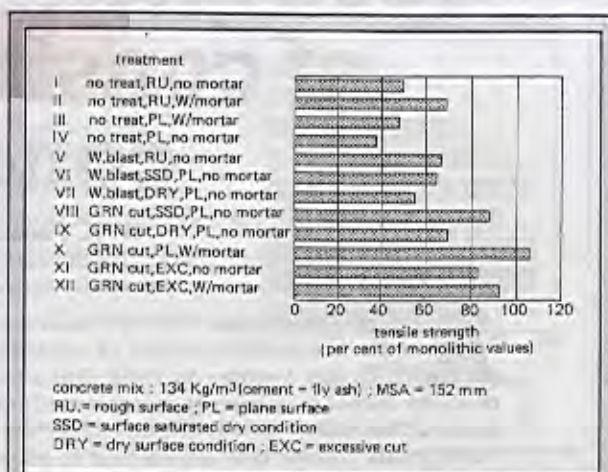


Fig.2. Itaipu project. Tensile strength of construction joints.

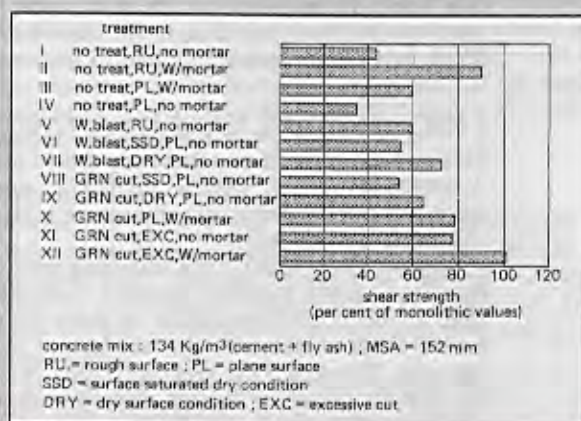


Fig.3. Itaipu project. Shear strength of construction joints.

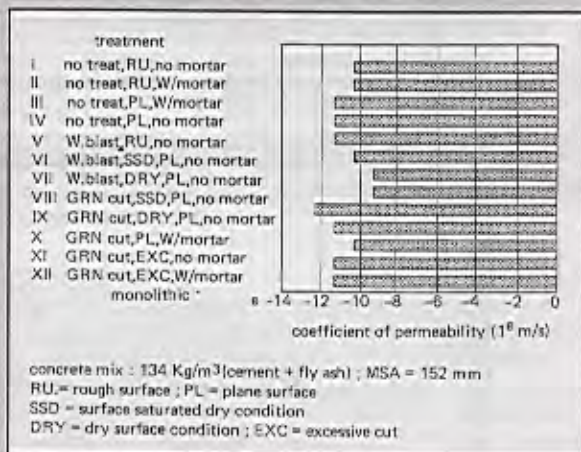


Fig.4. Itaipu project. Permeability of construction joints.

days later, requiring additional clean-up immediately before the placement of a new lift. It is advantageous when the elapsed time between lifts is short, from 3 to 7 days.

- **High pressure waterblasting or hydroblasting.** This has become popular during the last 20 years², employs a fan-shaped jet operating at very high pressures of 400 to 500 Kgf/cm² (40 to 50 MPa). While the results of this method are as good as those obtained by wet sandblasting, it is more economical and has the advantage that joint clean-up can be carried out just before the placement of



Table I—Dams where waterblasting was used for treatment of joints

Dam	Dworshak	Ilha Solteira	Itaipu	Itumbiara	Jupia	New Bullards Bar	Revelstoke
Location	USA	Brazil	Brazil	Brazil	Brazil	USA	Canada
River	Clearwater	Parana	Parana	Paranaiba	Parana	Yuba	Columbia
Powerplant capacity (MW)	800	3200	12 600	2100	1400	330	2700
Constructed	1965-74	1965-73	1975-83	1973-80	1962-68	1966-70	1977-84
Type	PG	TE/PG ER	TE/PG ER/CB	TE/PG	TE/PG ER	VA	PG
Height (m)	219	74	196	106	43	194	175
Crest length (m)	1002	6185	7297	6780	5604	689	472
Concrete volume ($m^3 \times 10^6$)	5.024	3.676	12.686	2.081	1.5	2	2.275
Mass concrete mix (kg/m^3) ^a	150	84	87	112	150	180	138

PG = Gravity; TE = earthfill; CB = Hollow gravity, buttress; VA = arch.

^aMinimum cementitious material (cement + pozzolanic material and MSA = 152 mm)

new concrete and even 30 to 45 days after the old concrete was placed.

Performance of construction joints

In an ideal situation, a well treated construction joint should have essentially the same strength properties as the monolithic concrete. Thus, when responding to the loads imposed upon the structure, the elastic response of the joint should be indistinguishable from that of the concrete above and below it. In other words, in bond, tension, shear and bending, the same margins of safety should be available at the joint as in the concrete. Also, the treated joint should be as impervious as the concrete.

The following questions always arise when the designs, specifications and quality control procedures for a concrete dam are prepared: How does the actual performance of construction joints treated by the various methods compare with the ideal objective? How should the adequacy or acceptability of the various types of construction joint treatment be evaluated?

To find realistic and representative answers to such questions, a large number of investigations involving tests on samples cored out of test fills or existing dams at various ages of concrete have been carried out by organizations throughout the world. Results of insitu tests to determine the bond and shear strength between new concrete placed on the roughened surface of several years old concrete are also indicative of the efficacy of joint treatment. In this paper, the authors have presented and analysed the examples and results of tests at several projects with which they are familiar.

Construction joint investigations

Case histories of investigations regarding the performance of construction joints in the following five large concrete dams and an RCC cofferdam (Table I) are discussed in this section: Ilha Solteira, Brazil; Itaipu, Brazil-Paraguay; Itumbiara, Brazil; Jupia, Brazil; Ross Dam, USA; Serra da Mesa RCC cofferdam, Brazil.

Ilha Solteira dam

During construction of this gravity dam (where greencutting and waterblasting were mostly employed for joint preparation), to compare the efficacy of various joint treatments, test panels were prepared in four lifts of the transition walls between the concrete dam and the rockfill wing dams. The lifts were placed after nominal clean-up with air and water jets; in some test panels the joints were not subjected to any treatment. The construction joints in other designated test panels were prepared by greencutting and

waterblasting prior to placement of new concrete. Cores, 250 mm in diameter, drilled along the joints, were obtained from the test panels with ages of concrete ranging from 60 to 90 days.

The 250 × 400 mm and 250 × 500 mm core samples, with a construction joint located in the central part of the specimens, were prepared and tested in accordance with procedures of ASTM-C-496: Standard Test Method of Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens. In all cases, the break occurred at the joint, indicating that the joint was weaker than the monolithic concrete. The results of the tests are summarized below⁴.

Table II—Test results on core samples

Joint treatment	No. of tests	Age of joint (days)	Tensile strength (Kgf/cm^2)
No Treatment	9	90	8
Greencutting	9	90	15
Waterblasting	9	90	14

The average compressive strength of the monolithic concrete at 90 days was 145 Kgf/cm^2 . Analyses of large number of various types of tests for tensile strength of concrete have shown that it is about 10 to 12 per cent of its corresponding compressive strengths⁵. The Ilha Solteira tests demonstrated that with greencutting or waterblasting, a high degree of bond was obtained and the average splitting tensile strength of the joint was about 90 per cent of the tensile strength of the concrete itself.

Itaipu project

The concrete structures comprising the Itaipu complex are shown in Table III.

Table III—Concrete structures of Itaipu

Structure	Max. height (m)	Concrete volume ($10^6 \times m^3$)
Hollow gravity dam	196	5.4
Buttress wing dams	75	1.4
Diversion structure gravity dam	162	2.1
Spillway structure and chutes	45	0.8
Powerhouse and equipment erection areas	112	3.0
Total volume of concrete		12.7

Considering the large sizes and heights of the Itaipu dams, the complex shape of the hollow gravity dam⁶, the relatively thin upstream heads of the buttresses and the anticipated fast rate of concrete placement, great emphasis was placed on the treatment and performance of the construction joints.

To determine the most satisfactory method of joint treat-



ment from the structural viewpoint, which would also be economical, comprehensive field and laboratory investigations were carried out on dam blocks during the early stage of project construction in 1977-1978.

Construction joints were designated for one of the following types of treatment:

- no treatment (only nominal clean-up),
- waterblasting; and,
- greencutting;

For each type of treatment, four alternatives of joint surface condition were considered: plane or rough surface, and with or without a mortar layer. For greencut and waterblasted joints, additional alternatives were for dry, surface saturated dry, and excessively cut conditions. Thus, 12 alternatives of joint treatment were evaluated. These comprehensive investigations involved a total of: 330 m of cores extracted from designated test blocks; 145 laboratory samples from the joints tested; 432 laboratory samples tested from monolithic concrete (cast and drilled core); 36 joint specimens and 142 monolithic concrete specimens tested for splitting tensile strength according to ASTM C-496; 34 joint specimens plus 132 monolithic concrete specimens tested for shear strength according to CRD C-90 USCE; and, 15 joint specimens plus 120 monolithic concrete specimens tested for compressive strength according to ASTM C-39.

The construction joint surfaces were prepared in two blocks of the dam. Each one of the 12 alternatives had an area of 3×3 m in plan, on the boundary part of the blocks, and concrete was placed in five 0.5 m-thick layers with a total lift height of 2.5 m, and consolidated as specified for the dam. The concrete mix comprised the following (all in Kg/m³):

Cement	104
Fly-ash	30
Water	89
Aggregates — natural sand	166
— crushed sand	388
— crushed coarse (basalt)	
19mm	364
38 mm	365
76 mm	465
152 mm	641
Slump (wet screened portion)	4.0 + 0.5 cm
Air entrained (wet, screened)	7.0 + 0.5 per cent
Placement temperature	7°C

Compressive strength (age in days)	Average (kgf/cm ²)	Coefficient of variation (per cent)
7	70	21
28	137	20
90	213	17
180	229	12
365	240	11

A total of 280 m³ of concrete was placed above and below the surfaces to form the construction joints test area. The cores were drilled horizontally in the concrete and in the construction joint, when the age of the joint and the concrete was 60 to 80 days. The drilled cores were 250 mm in diameter and the tests were carried out at 90 days age. The 250×400 mm or 250×500 mm size samples were prepared with a construction joint located approximately in the central part of the specimens.

Fig. 2, 3 and 4 show the average splitting tensile and shear strengths and permeability of construction joints sub-

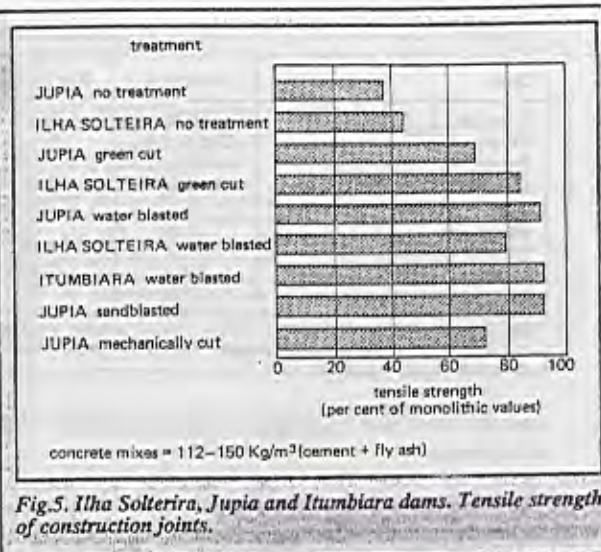


Fig. 5. Ilha Solteira, Jupia and Itumbiara dams. Tensile strength of construction joints.

jected to the 12 types of treatment studied. Stress values are shown as percentages of the comparable values for monolithic concrete. The coefficient of permeability of the tested construction joints ranged from 1×10^{-9} to 1×10^{-11} m/s, which is comparable to that of the concrete.

Itumbiara dam

Concrete placement in this 106 m-high gravity dam commenced in 1975. Benefiting from the experience gained at Dworshak, Jupia, Ilha Solteira and New Bullards Bar dams (Table I), high pressure waterblasting was specified and employed for treatment of all construction joints in Itumbiara dam.

Cores of 200 mm diameter were drilled from 55 randomly selected locations, with a total length of 70 m. The cores were horizontally extracted from the blocks of the transition wall between the concrete and rockfill dam with the construction joint along the core. The samples were prepared by cutting with a diamond saw, at ages of 150 to 360 days.

Randomly selected specimens were tested⁶ for splitting tensile strength of the joint in accordance with ASTM C-496. The average tensile strength of the treated joints exceeded 90 per cent of that of monolithic concrete (Fig. 5), indicating that almost full monolithic action would develop across the construction joints.

Jupia dam

During the initial period of construction of Jupia dam, 30 test blocks were cast to verify the suitability of greencutting, waterblasting, sandblasting and mechanical-cutting.

The typical joint test surface was 0.4 m×0.4 m in area, in the middle of a block of 0.4×0.4×1.3 m. In addition to the four areas where the various types of joint treatment were applied, three joint test panels received no treatment other than a nominal air-water jet clean-up, and three other blocks were cast without a joint, to be compared with monolithic concrete. A total of 38 beams (0.4×0.4×1.3 m) were tested according to ASTM C-78 (Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete) using a simple beam with three-point loading.

The results of the tests for the five alternatives are shown in Fig. 5. It was concluded that joints treated by either greencutting or by mechanical-cutting would develop a tensile strength (modulus of rupture) of at least 70 per cent of that of concrete. Results of waterblasting were as good as those obtained by sandblasting, developing a tensile



strength equal to 90 per cent of that of concrete. Considering the low height of the gravity dam, the degree of monolithicity developed by greencutting was considered acceptable when the new concrete was placed within 5 days. The remaining construction joints, in particular where more than 5 days elapsed before placing new concrete, were treated by waterblasting.

Ross dam

Ross concrete arch dam was completed to a height of 165 m in 1949. During 1968-75, extensive engineering studies were performed for raising the dam⁷ to a height of 202 m. A critical concern in the proposed design was that the new concrete should adequately bond to the old, such that the two parts of the dam would respond to the external and internal loads as one elastically integral monolithic structure.

Field tests⁷ were performed by casting panels of concrete against the vertical surface of the "dimples" originally formed in the downstream face of the dam (Fig.6). Twelve test specimens, each with a contact area of 0.14 m² were placed after the contact surface of the old concrete was chipped to a depth of 38 mm, sandblasted and kept damp for 48 h. The test panels were cured with water spray for 28 days and then covered with a sealing compound.

Two series of tests were carried out on the same surface. The first series was with a 10 mm-thick layer of cement-sand mortar applied to the contact surface just before the test panel of concrete was cast. After completion of the first series, a second set of 12 panels was cast, except that the mortar layer on the prepared contact surface was omitted.

On 9 panels in each series, the load was applied along the plane of the contact to induce failure by direct shear, and on three panels the load was applied with an eccentricity of 38 mm out of the plane of the contact surface.

The panels were tested to failure of ages of 28 to 90 days, under rapid and slow loading conditions. While these insitu tests were performed under difficult field conditions, where the same degree of quality control could not be maintained as in a laboratory, the data obtained are useful and pertinent for the evaluation of adequacy of treatment of construction joints.

The principal conclusions derived from the Ross dam tests were:

- The treatment and preparation of the existing concrete must produce a clean, fresh, sound, moistened surface, and

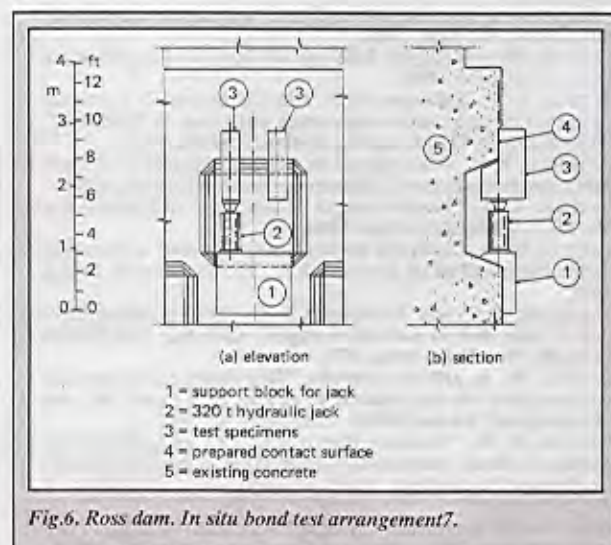


Fig.6. Ross dam. In situ bond test arrangement⁷.

the new concrete must be carefully placed, consolidated and cured to obtain a satisfactory bond.

- An adequate bond can be achieved between old and new concrete without the use of mortar or grout on the contact surface.
- Bond or shear strength, on a properly prepared (even vertical) surface, is about 10 per cent of the unconfined compressive strength of the (new) concrete at an age of 28 to 90 days.

Construction joints in RCC dams

Serra da Mesa cofferdam investigations

Under ideal conditions, in a RCC dam, zero-slump concrete is placed in thin layers and compacted by vibratory rollers, in a continuous operation with successive layers being placed without significant interruption. However, for large RCC placements, continuous operation may not be feasible and some cold or construction joints are likely to occur. How should these joints be treated?

The cofferdams for the Serra da Mesa rockfill dam are RCC gravity dams which were constructed in 1988. These cofferdams, which were overtopped by river flow, have the following main characteristics:

Cofferdam	Height (m)	Crest length (m)	Volume (m ³)
Upstream	25.5	160	21 000
Downstream	16.5	180	12 500

The following six different types of treatment of joints between the layers of RCC were investigated on two large scale test fills, 4 m × 27 m in area, each containing 150 m³ of RCC. The RCC was placed and compacted in layers ranging from 0.25 m to 0.5 m in height, with 10 t vibratory rollers. In other words, all the important elements of construction of the RCC dam were used in the test fill (see Table IV).

Table IV — Serra da Mesa cofferdams			
No	Compacted surface clean-up	Mortar or bedding mix	Interval between layers (hours)**
I	No	None	<8
II	No	None	>8
III	No	Yes	<8
IV	No	Yes	>8
V	With low pressure water jet*	None	>8
VI	With low pressure water jet	Yes	>8

*Pressure about 7 kgf/cm²
 **Placement of new layer after compaction of preceding layer.

Two RCC mixes with the following cementitious content were used for the tests:

- 60 Kg/m³ cement + 100 kg/m³ milled blast furnace slag
- 60 Kg/m³ cement + 60 kg/m³ milled blast furnace slag

The average joint surface area of each test was about 100 m², and 90 m of cores were extracted for all the tests on the joints. For each alternative, six samples were tested to obtain the direct tensile strength of the joint.

The tensile strength of the joints in RCC for the six treatment conditions are compared with the tensile strength of monolithic RCC in Fig.7.

These investigations indicated the following regarding the performance of joints between successive layers of RCC subjected to different types of treatment:

- If the time interval between layers exceeds 8 h, without any treatment, there would be a 25 per cent reduction in the effective bond strength of the joint.

- The use of a bedding-mix would improve the strength of the joint more than 34 per cent regardless of the time interval between lifts.
- Clean-up of the RCC joints with low-pressure air-water jets showed only a small improvement in joint strength (16 per cent comparing conditions V and II).

TVA field tests

It is interesting to review the results of field tests performed on RCC by the Tennessee Valley Authority⁹ in 1971, when RCC dam technology was in its infancy.

The test fill was 10 m long, 5 m wide and 1.2 m-thick. The lean no-slump concrete used 75 mm maximum size aggregate and contained 56 kg/m³ of cement plus 77 kg/m³ of fly ash.

Concrete was placed in two 60 cm-thick lifts and compacted with a 15 t vibratory roller. The lifts were placed 24 h apart, forming a horizontal construction joint at mid-height, which was untreated. When the concrete was 3 months old, 12 widely-spaced vertical cores were taken from the full depth of the fill and 2 horizontal cores were taken at the construction joint for the full 5 m width. On randomly selected specimens obtained from the cores, the following tests were performed in the laboratory: 24 compressive strength tests; 16 tensile strength tests; 25 shear strength tests; and 7 tests for permeability of the joint.

These investigations showed the following results:

Average compressive strength of concrete (Kgf/cm ²)	219
Average shear strength of untreated construction joint (Kgf/cm ²)	21
Tensile strength of the construction joint: 80 per cent of tensile strength of concrete (approx. $0.8 \times 0.1 \times 219$) (Kgf/cm ²)	17.5

The results of these early, pioneering investigations are in good agreement with those of the Serra de Mesa project (Fig.7).

Conclusions

Conventional mass concrete

- For satisfactory treatment of construction joints, high pressure waterblasting is as effective as wet sandblasting.
- Properly controlled greencutting performed at an early age (within 5 days) will produce a construction joint surface almost as good as that by waterblasting.
- A construction joint prepared by either greencutting or waterblasting, without a mortar layer, will have effective shear, bond and tensile strengths equal to at least 85 per cent of that of concrete, which would adequately ensure monolithic performance of the joint.
- Roughness of the joint surface does not have a significant influence on its strength or performance.
- A mortar layer has some beneficial effect on strength of the joint only if the surface clean-up was not performed.
- The coefficient of permeability of construction joints without any treatment and without a mortar layer is about 10^{-10} m/s or 90 per cent of that of concrete. With greencutting or waterblasting and without a mortar layer, the construction joint would be essentially as impervious as concrete.

Roller Compacted Concrete

- If the time interval between successive RCC layers is more than 8 h, without any treatment or bedding mix, the joint would be 25 per cent weaker than if the time interval was less than 8 h.

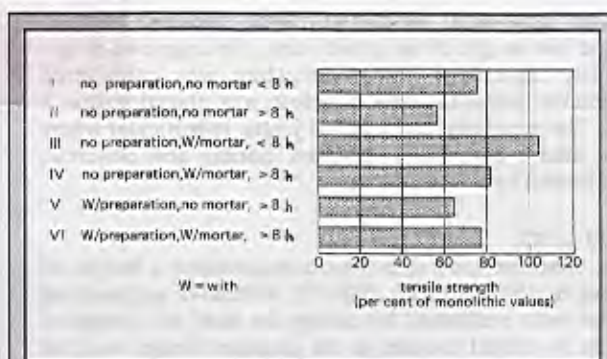


Fig.7. Serra da Mesa cofferdam. Tensile strength of construction joints with various types of treatment.



Drilling cores at Itaipu.

- The use of a bedding mix or mortar layer would increase the bond strength of the joint by 30 per cent, regardless of the time interval between RCC layers.
- Clean-up of joint surface with low-pressure air-water jet would improve the bond strength of the joint by about 16 per cent.

References

1. ACI manual of concrete practice, Part 1, American Concrete Institute, Detroit, MI, USA; 1989.
2. Concrete Manual (Eighth Edition), US Bureau of Reclamation, Denver, CO, USA; 1988.
3. TUTHILL, L. H., SARKARIA, G. S., AND CORTRIGHT, C. J., "Better concrete for dams; recent experiences and trends in California", Q39, R11, 10 ICOLD Congress, Montreal, Canada; 1970.
4. ANDRIOLO, F. R., "Construcoes de Concreto Manual de Praticas para controle e execucao", (Editorpini), Sao Paulo, Brazil; 1984.
5. RAPHAEL, J. M., "Tensile strength of concrete", ACI journal title No. 81-71, USA; March-April 1984.
6. PACELLI, W. A., "Concrete construction joints tests at Itumbiara dam", Furnas Centrais Eletricas S.A., Rio De Janeiro, Brazil; 1978.
7. SUNDQUIST, D. C. AND KOLLGAARD, E. B., "Design and construction of Ross dam in successive stages", Q48, R2, 13th ICOLD Congress, New Delhi, India; 1979.
8. PACELLI, W. A. AND CO-AUTHORS, "Desempenho do concreto compactado a rolo (rcc) atraves de ensaios com carotes da usina serra da mesa", Furnas Centrais Eletricas S. A.; 1990.
9. CANNON, R. W., "Concrete dam construction using earth compaction methods; economical construction of concrete dams", Conference Proceedings, American Society of Civil Engineers; 1972.
10. CARIC, D. M., SARKARIA, G. S. AND CO-AUTHORS, "The Itaipu hollow gravity dam," Water Power & Dam Construction; May 1982.



TRATAMENTO E DESEMPENHO

DE JUNTAS DE CONSTRUÇÃO EM

BARRAGENS DE CONCRETO

W. Pacelli - Chefe do departamento de Controle de Qualidade- Furnas Centrais Elétricas S.A. - Goiânia- Br.
F.R. Andriolo - Consultor - Andriolo Engenharia S/C Ltda- Rua Indiana 1006 - São Paulo - Br.
G.S. Sarkaria - Consultor - P.O. Box- 856 , Vista, CA 92085 - USA

Uma junta de construção típica no concreto massa de barragem, é a superfície horizontal de um concreto endurecido, que se torna tão rígida que o concreto fresco recém colocado, não se torna integralmente monolítico com o concreto velho. Tal Junta de construção é as vezes denominada de "Junta de Camadas" ou " Junta Fria". Desde que é praticamente impossível colocar o concreto de maneira contínua em todo o corpo de uma grande barragem, sem interrupções, a formação de algumas juntas de construção é inevitável. Mesmo nas construções de Concreto Compactado a Rolo (CCR) , se o intervalo de tempo entre camadas for excessivo, podem se estabelecer juntas de construção.

Necessidade do Tratamento da Junta de Construção :

De maneira ideal o corpo de uma barragem de concreto massa deve ser monolítico. A junta de construção, quando planejada ou não, se não tratada, pode se constituir em uma discontinuidade ou em um plano de fraqueza na massa de concreto.

As cargas externas e internas, incluindo aquelas decorrentes das variações térmicas, atuantes contra o monolito de concreto da barragem, são distribuídas pela massa e transferidas para sua fundação e ombreiras através de um comportamento elástico. Esse comportamento estrutural resulta em deformações e esforços causados por flexões, cisalhamentos transversais, compressão e tensão. Em estruturas em arco ou monolitos tridimensionais de uma barragem gravidade, torsão e cisalhamento longitudinal também ocorre. Disso então, uma típica junta horizontal de construção poderá ser submetida à combinações de esforços compreendendo cisalhamento horizontal, flexo tração e compressão (Fig 1). Próximo à face de montante a junta poderá, também, ser solicitada por pressão hidráulica interna, que poderá ser de grande magnitude e atuar em uma extensa área do concreto das imediações.

A junta de construção não poderá transmitir integralmente esses esforços de uma parte do concreto à outra, a menos que as propriedades resistentes efetivas - aderência, flexão, tensão, e cisalhamento- sejam superiores que os correspondentes esforços solicitantes. A fricção (atrito) por si só não é suficiente para assegurar o monolitismo de uma junta de construção não tratada, pois, sem a aderência adequada a junta tende a abrir na região da face de montante, e a pressão hidrostática na junta aberta aumentará os esforços de tração na junta.

Uma outra consideração diz respeito à permeabilidade na junta de construção não tratada, que poderá ser muito maior que a (permeabilidade) do concreto. As consequências indesejáveis de uma elevada permeabilidade na junta de construção poderão ser várias:

- * aumento da sub pressão;
- * abertura da junta e perda de aderência;
- * lixiviação de compostos aglutinantes do cimento;
- * aumento do risco de reações deletérias tipo álcalis-agregado ou álcalis-sílica; e
- * a penetração de água à baixa temperatura poderá iniciar ou ampliar uma fissura.

A longo prazo isso poderá enfraquecer o concreto, alterar a distribuição dos esforços na estrutura, modificar sua estabilidade e requerer reforços e reparos.

Dessa maneira, é necessário preparar, limpar e tratar toda junta de construção antes da colocação de uma nova camada de concreto, de tal sorte que a junta tenha adequada aderência e resistência ao cisalhamento para assegurar um total comportamento elástico por toda a estrutura.

REQUISITOS PARA O TRATAMENTO DA JUNTA

As especificações ou requisitos usuais para a limpeza da junta de construção no preparo para o lançamento de uma nova camada, citam a remoção de toda sujeira, todo material não são, todo material solto, óleo, graxa, material orgânico, coberturas deletérias ou outro material estranho ou defeituoso. Imediatamente antes do lançamento do concreto, a superfície da junta de construção deverá estar limpa e úmida.

O Manual de Concreto do A.C.I.(Seção 4.3.2) [1] fornece as seguintes orientações básicas:

" Uma eficiente e ótima preparação da superfície de uma junta horizontal começa com as atividades ao término e cabamento do topo da camada. A superfície deverá estar livre de pontas de rocha (agregados) marcas de pés, buracos deixados pela retirada de vibradores e outras irregularidades superficiais.

De maneira geral a superfície deverá ter uma suave inclinação para a drenagem. Isso facilita a limpeza. O mais tarde possível, porém imediatamente antes do lançamento da nova camada, o filme superficial e as contaminações deverão ser removidas de modo a expor a parte fresca(jovem) da argamassa e da superfície do agregado. O corte excessivo e profundo de tal modo a expor o agregado é desnecessário e acarretará na perda de material bom (são).

A aderência será dada pelos grãos de cimento , não pelo protuberância do agregado graúdo. Normalmente a remoção de aproximadamente 2mm de material de baixa qualidade fornecerá uma superfície satisfatória. "

Enquanto que a remoção de todo material duvidoso decorre do requerido para se obter uma superfície de junta de construção satisfatoriamente limpa, as especificações raramente incluem regras para o julgamento da rugosidade, o que resulta em conflitos quanto a adequação do método de preparo ou de tratamento da junta.

Algumas vezes há, ainda, confusões sobre a definição ou significado de materiais duvidosos e deletérios, tal como um delgado filme de carbonato de cálcio cristalizado que se mantém fortemente aderido à superfície do concreto. Qualquer material que seja compatível com o Cimento portland e seu processo de Pega e Hidratação , ou que não reduza a resistência, permeabilidade, ou durabilidade do concreto, não deve ser removido.

METODOS PARA O TRATAMENTO DA JUNTA

Para se obter a monoliticidade, aderência, adequada resistência ao cisalhamento e impermeabilidade, a superfície da junta deverá ser preparada como se segue [2],[3]:

- * A superfície da junta deverá ser conseguida com um concreto não muito úmido e sem excesso de vibração;
- * Os agregados graúdos protuberantes devem ser empurrados para baixo da superfície da junta antes da Pega do concreto (argamassa);
- * Após o Fim de Pega do concreto, a superfície da junta deverá ser limpa tornada áspera por meios mecânicos, jato úmido de areia, "corte verde", jato d'água a alta pressão, ou pela combinação desses procedimentos.

As metodologias citadas a seguir são usualmente empregadas no tratamento das juntas de construção , na execução de barragens de concreto:

Método Mecânico : Vassouras mecânicas com cerdas de aço , de grandes dimensões, montadas sobre equipamentos de pneus, têm sido adotadas em algumas obras de pequeno porte. Este método às vezes é combinado com a ação de jatos d'água a baixa pressão, usado no "corte verde". É adequado, porém seu custo-benefício para grandes obras é questionável;

Jato de úmido de Areia : Adotado em um grande número de obras pelo mundo, esse método tem certa preferência por obter bons resultados com certa uniformidade [2]. E , também, por poder ser aplicado em concretos com qualquer idade. Entretanto, o método é mais caro que o "corte verde" ou jato d'água a alta pressão, e tem a desvantagem de que a retirada do resíduo de areia, após o tratamento, interfere e altera o ciclo das demais atividades de construção;

"**Corte Verde**": Consiste na remoção da argamassa jovem, através de jato d'água à pressão relativamente baixa - de 5 a 20 kgf/cm² (0,5 a 2 MPa), de modo a expor a superfície sã do concreto. O "corte verde" deve ser realizado entre 4 a 12 horas depois do lançamento, praticamente ao redor do tempo de Fim de Pega. Esse método tem a desvantagem de, se aplicado muito cedo poderá retirar muito material sã, e também agregados. E ainda, pode não ser possível manter a superfície nas condições obtidas nessa limpeza inicial até à época do lançamento seguinte, que poderá se dar alguns dias depois, requerendo uma limpeza adicional imediatamente antes do lançamento subsequente. É vantajoso quando o intervalo de tempo entre os lançamentos sucessivos estiver entre 3 e 7 dias;

Corte com Jato D' água a Alta Pressão - Jato hidráulico: Esse tratamento tornou-se popular nos últimos 20 anos [2], e adota um jato em leque, operando a elevada pressão ao redor de 400 a 500 kgf/cm² (40 a 50 MPa). Além dos resultados desse procedimento serem tão bons quanto àqueles obtidos com a aplicação do jato úmido de areia, é mais econômico e tem a vantagem de que o preparo da junta pode ser executado logo antes da colocação da nova camada de concreto mesmo tendo decorrido 30 a 45 dias do término da concretagem da camada subjacente

DESEMPENHO DAS JUNTAS DE CONSTRUÇÃO

Em uma condição ideal, uma junta de construção bem tratada deveria ter essencialmente as mesmas propriedades resistentes do concreto monolítico. E então, ao responder às cargas impostas à estrutura, a resposta elástica da junta deveria ser indiferente daquela do concreto acima ou abaixo da mesma (junta). Ou seja, em termos de aderência, tração, cisalhamento e flexão, ter-se-iam as mesmas margens de segurança nas juntas e no concreto. E, também, a junta tratada deveria ser tão impermeável quanto o concreto.

As questões a seguir sempre afloram quando os projetos, especificações e procedimentos para o controle de qualidade do concreto de barragens são preparados:

- * Qual o desempenho das juntas de construção tratadas pelos vários métodos em comparação com os objetivos idealizados?

- * Qual deveria ser a adequação ou aceitabilidade para avaliação dos vários tipos de tratamentos de juntas de construção?

Para chegar a uma real e representativa resposta a essas questões, um grande número de pesquisas, englobando ensaios sobre amostras de testemunhos extraídos de aterros experimentais ou das próprias barragens existentes, à várias idades do concreto, têm sido feitas por várias entidades pelo mundo. Resultados de ensaios "in situ" para determinar a aderência e a resistência ao cisalhamento entre o concreto recém lançado sobre a superfície áspera de um concreto com vários anos de idade, são também indicadores da eficácia do tratamento da junta. Neste

trabalho os autores apresentam e analisam exemplos e resultados de ensaios no transcorrer de vários Projetos que participaram.

PESQUISAS REFERENTES ÀS JUNTAS DE CONSTRUÇÃO

Registros de pesquisas referentes ao desempenho de juntas de construção em (Tabela I) cinco grandes barragens de concreto e em uma ensecadeira executada em CCR (Concreto Rolado) são apresentados nesta seção:

- # Barragem de Ilha Solteira, Brasil;
- # Barragem de Itaipu, Brasil-Paraguai;
- # Barragem de Itumbiara, Brasil;
- # Barragem de Jupia, Brasil;
- # Barragem de Ross, Estados Unidos da América;
- # Ensecadeira em CCR, da Barragem de Serra da Mesa, Brasil.

Barragem de Ilha Solteira

Durante a construção dessa barragem de gravidade (onde se utilizou o “corte verde” e jato d’água sob alta pressão de maneira preponderante, para o tratamento de junta) , para comparar a eficácia dos vários métodos de tratamento de juntas, painéis-ensaios foram preparados em quatro camadas dos Muros de Ligação entre a Barragem de concreto e a Barragem de terra . As camadas foram preparadas após uma limpeza com jatos d’água e ar; em alguns painéis não se aplicou nenhum tratamento. Em outros painéis as juntas de construção foram preparadas com “corte verde” e jato d’água sob alta pressão, antes do lançamento da nova camada de concreto. Testemunhos de D=250mm de diâmetro foram extraídos ao longo do plano da junta de cada tipo de painel-ensaio, com o concreto tendo idade entre 60 e 90 dias.

Corpos de prova de D x L= 250x400mm e 250x500mm, com a junta de construção localizada na parte central (longitudinal ou transversalmente) do corpo de prova, foram preparados e ensaiados de acordo com os procedimentos do ASTM-C-496- “Standadr Test Method of Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens. Em todos os ensaios a ruptura ocorreu na junta, indicando que a junta era mais fraca que o concreto monolítico. Os resultados dos ensaios estão resumidos na Tabela II [4].

A resistência à compressão média do concreto monolítico, à idade de 90 dias, foi de 145 Kgf/cm². A análise de um grande número de tipos e de ensaios para determinar a resistência à tração do concreto tem mostrado que a mesma é de aproximadamente 12% a 15% da correspondente resistência à compressão [5]. Os ensaios de Ilha solteira demonstraram que o “corte verde” ou o jato d’água sob alta pressão proporcionam um elevado grau de aderência e que a média da resistência à tração por compressão diametral, da junta, foi de aproximadamente 90% da resistência a tração do próprio concreto.

Projeto Itaipu

As estruturas de concreto do Projeto Itaipu, são listadas na Tabela III.

Considerando as grandes dimensões e alturas das estruturas de Itaipu, a forma complexa da barragem gravidade [10], a espessura relativamente pequena das cabeças de montante dos contrafortes e as elevadas velocidades de concretagens previstas para a obra, uma grande ênfase foi dada ao tratamento e desempenho das juntas de construção.

Para se estabelecer o método mais satisfatório de preparo de juntas de construção, do ponto de vista estrutural, que também poderia ter vantagens econômicas, um amplo estudo de pesquisa em laboratório e de campo foi desenvolvido durante a fase inicial de construção dos primeiros blocos da barragem, entre 1977 e 1978.

Certas juntas de construção foram escolhidas e preparadas segundo os seguintes tipos de tratamento:

- # Sem tratamento (apenas uma limpeza);
- # Jato D'água sob alta pressão; e
- # Corte verde.

Para cada tipo de tratamento, quatro alternativas de condições da superfície foram consideradas:

- ## Superfície plana e lisa;
- ## Superfície plana e aspera;
- ## Com aplicação de argamassa; e
- ## Sem a aplicação da argamassa.

Para os preparos com "corte verde" e jato d'água sob alta pressão, outras alternativas foram consideradas:

- ### Superfície seca;
- ### Superfície na condição saturada-seca; e
- ### Superfície excessivamente cortada.

Ou seja, foram avaliadas 12 alternativas de tratamento de juntas. Essa pesquisa englobou:

- 330m de testemunhos extraídos a partir dos blocos designados para ensaios;
- 145 amostras ensaiadas de testemunhos das juntas;
- 432 amostras ensaiadas a partir do concreto monolítico (moldado ou extraído);
- 36 corpos de prova da junta ensaiados à tração por compressão diametral segundo ASTM - C- 496;

- 142 corpos de prova de concreto monolítico ensaiados segundo ASTM-C-496;
- 34 corpos de prova da junta ensaiados ao cisalhamento segundo CRD-C-90 do USCE;
- 132 corpos de prova de concreto monolítico ensaiados segundo CRD-C-90;
- 15 corpos de prova da junta ensaiados à compressão segundo ASTM-C-39;
- 120 corpos de prova de concreto monolítico ensaiados segundo ASTM-C-39.

As juntas de construção foram preparadas em superfícies de 2 blocos da barragem. Cada uma das 12 alternativas compreendeu uma área de 3x3m², na parte lateral de cada bloco (de maneira a facilitar a extração dos testemunhos), e o concreto foi lançado em 5 sub-camadas de 0,5m, de modo a completar uma camada de 2,5m (altura típica das camadas em Itaipu), e adensadas da maneira especificada para a barragem. A dosagem básica adotada (em Kg/m³) foi:

CIMENTO		104
CINZA VOLANTE (FLY-ASH)		30
ÁGUA		89
AGREGADOS	- areia natural	166
	- areia artificial obtida a partir do basalto	388
	- gráúdo britado a partir do basalto -Dmax=19mm	364
	Dmax=38mm	365
	Dmax=76mm	465
	Dmax=152mm	641

Trabalhabilidade (na fração peneirada passante de 38mm) 4,0+/- 0,5cm
Ar Incorporado (na fração peneirada passante de 38mm) 7,0+/- 0,5%
Temperatura de lançamento do concreto 7 C

Um total de 280 m³ de concreto foi lançado ao redor da junta (abaixo e sobre) de modo a conformar a região a ser pesquisada. os corpos de prova foram extraídos horizontalmente na região da junta, quando a idade do concreto esteve ao redor de 60 a 80 dias.Os testemunhos tinham um Diâmetro de 250mm, e foram ensaiados à idade de 90 dias. Os corpos de prova foram preparados com dimensões DxL= 250x400mm e 250x500mm, com a junta na parte central (longitudinalmente).

As Figuras 2,3, e 4 mostram os valores médios de tração, cisalhamento e permeabilidade dos corpos de prova das 12 situações estudadas. As propriedades mecânicas são mostradas em termos de porcentagem com relação aos correspondentes valores do concreto monolítico. Os coeficientes de permeabilidade das junta de construção ensaiadas variaram de 1x 10^(exp.-9) a 1x10^(exp.-11) m/s, e que foram comparáveis aos dos concretos monolíticos

Barragem de Itumbiara

A colocação de concreto nessa barragem gravidade de 106m de altura iniciou em 1975. Beneficiando-se da experiência obtida nas barragens de Dworshak, Jupia, Ilha Solteira e New Bullards Bar (Tabela I), o jato d'água sob alta pressão foi especificado e empregado para o tratamento das juntas de construção da Barragem de Itumbiara.

Testemunhos de 200mm de diâmetro foram extraídos de 55 locais escolhidos ao acaso, em um total de 70m de comprimento. Os testemunhos foram extraídos horizontalmente, ao longo das juntas de construção, dos monolitos do muro de transição entre as barragens de concreto e de enrocamento. As amostras foram preparadas com auxílio de uma serra diamantada, às idades entre 150 e 360 dias.

Os corpos de prova para os ensaios de tração por compressão diametral de acordo com o ASTM - C - 496, foram escolhidos aleatoriamente [6]. A média dos resultados desses ensaios de tração, dos corpos de prova das juntas tratadas, superou 90% da resistência a tração do concreto monolítico (Fig 5), indicando que quase uma completa monoliticidade poderia se desenvolver através das juntas de construção.

BARRAGEM DE JUPIÁ

No início da construção da Barragem de Jupia, 30 blocos de ensaio foram moldados para avaliar a adequabilidade dos métodos de tratamentos - "corte verde", jato d'água sob alta pressão, jato de areia, e tratamento mecânico.

A superfície típica, considerada para ensaio, era de 0,4x0,4m², à meia altura de cada bloco de 0,4x0,4x1,3m³. Em complementação aos blocos-ensaio dos 4 tipos de tratamento, outras três condições de juntas foram estabelecidas, sem receber qualquer tratamento, além de uma limpeza com água e ar, e três outros blocos foram moldados monoliticamente, sem juntas de construção, para servir de referência. Um total de vigas (blocos de ensaio) de 0,4x0,4x1,3m foram ensaiados à tração por flexão sob carga em três pontos, de acordo com o ASTM - C - 78 -(Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete).

Os resultados dos ensaios das 5 condições são mostrados na Fig 5. Pode-se concluir que as juntas tratadas com "corte verde", ou por processo mecânico, desenvolveram módulo de ruptura (Tração por Flexão) de pelo menos 70% do concreto monolítico. Os valores de tratamento com jato d'água sob alta pressão foram semelhantes aos obtidos com jato de areia, desenvolvendo uma resistência à tração igual a 90% da do concreto monolítico. Considerando a pequena altura da Barragem de gravidade de Jupia, o grau de monolitismo obtido pelo corte verde foi considerado aceitável, quando o concreto da nova camada fosse lançado a menos de 5 dias do término da camada anterior. As demais juntas de construção,

particularmente com mais de 5 dias de idade, foram tratadas com jato d'água sob alta pressão.

BARRAGEM DE ROSS

Ross é uma barragem de concreto em arco que foi terminada com uma altura de 165m em 1949. Durante o período 1968-1975, um amplo estudo de engenharia foi elaborado para o alteamento [7] da barragem para uma altura de 202m. Um ponto conceitual crítico era de que o novo concreto deveria aderir adequadamente ao concreto velho, de tal modo que as duas partes da barragem deveriam responder aos esforços internos e externos como um único elemento estrutural monolítico.

Ensaio de "campo" [7] foram realizados com a moldagem de painéis- ensaios contra a superfície vertical dos "domos" originalmente moldados na face de jusante da barragem (Fig 6). Uma dúzia de corpos de prova, cada um com uma área de contato de 0,14m² foram moldados , após a retirada por desbaste de uma profundidade de 38mm da superfície antiga e pelo tratamento com jato de areia e posterior umedecimento da superfície até a condição de superfície saturada seca, durante 48 horas. Os painéis-ensaio foram mantidos sob cura por aspersão de água por um período de 28 dias, após o que permaneceram cobertos por um componente selante até à idade de ensaio.

Duas séries de ensaios foram realizadas sobre um mesmo tipo de superfície. A primeira série compreendia a utilização de uma película de 10mm de argamassa sobre a superfície antiga desbastada e jateada, imediatamente antes da moldagem do painel-ensaio. Após o término dessa primeira série, um segundo conjunto de 12 painéis foi moldado , com exceção de que não se aplicou a película de argamassa.

Em 9 painéis de cada série , o carregamento foi aplicado na direção do plano da junta de contato de tal sorte a induzir uma ruptura por cisalhamento direto, e outros tres painéis a carga foi aplicada com uma excentricidade de 38mm a partir do plano da junta.

Os painéis foram ensaiados até a ruptura, às idades de 28 e 90 dias, sob carregamentos rápido e lento. A partir do fato de que os ensaios de "campo" foram efetuados sob condições difíceis, onde não se consegue estabelecer as mesmas condições de controle de qualidade de um laboratório, os dados obtidos possibilitaram estabelecer uma envoltória para a análise do processo de tratamento de juntas de construção.

As conclusões principais obtidas dos estudos efetuados na Barragem de Ross foram:

- O tratamento e preparo do concreto deve proporcionar uma superfície limpa, fresca, úmida, e o novo concreto deverá ser cuidadosamente lançado, adensado e curado, para se obter a adequada aderência.
- Uma adequada aderência entre os concretos novo e velho, pode ser atingida sem o emprego de argamassa ou calda no contato entre ambos.
- A aderência ou resistência ao cisalhamento, de uma superfície (mesmo vertical) bem preparada, é de aproximadamente 10% da resistência à compressão axial simples do concreto com a mesma idade.

JUNTAS DE CONSTRUÇÃO EM BARRAGENS DE CONCRETO COMPACTADO A ROLO - Pesquisas na ensecadeira da Barragem de Serra da Mesa.

Em condições ideais , em uma barragem de Concreto Compactado a Rolo, um concreto “no slump” é lançado em camadas delgadas e compacto por rolos vibratórios, em uma seqüência de operações contínuas, com as camadas sendo lançadas praticamente sem interrupções. Entretanto, para concretagens de grandes dimensões , uma operação contínua pode não ser viável, e alguma “junta fria” ou junta de construção poderá se estabelecer. E, então como essa junta deverá ser tratada ?

As ensecadeiras da Barragem (de enrocamento) de Serra da Mesa, foram construídas em 1988, como uma estrutura gravidade em Concreto Compactado a Rolo. Essas ensecadeiras , planejadas para serem galgáveis, tinham as seguintes características:

<i>Ensecadeira</i>	<i>Altura (m)</i>	<i>Comprimento da Crista (m)</i>	<i>Volume (m3)</i>
<i>Montante</i>	25,5	160	21.000
<i>Jusante</i>	16,5	180	12.500

Seis distintos tipos de tratamento de junta entre camadas de CCR foram pesquisados através de dois aterros experimentais, de grandes dimensões com 4x27m² de área, cada um com 150m³ de CCR. O CCR foi lançado e compactado em camadas de altura variando entre 0,25m e 0,5m, através de rolo vibratório de 10t. Os tipos de tratamento considerados são citados na Tabela IV.

Foram empregadas misturas com dois teores de materiais aglomerantes a saber:

- 60Kg/m³ de cimento + 100Kg/m³ de escória de alto forno, moída;
- 60Kg/m³ de cimento + 60 Kg/m³ de escória de alto forno, moída.

A área média de cada junta para cada ensaio foi de aproximadamente 100m², e 90m de testemunhos foram extraídos das juntas para ensaios. Para cada

alternativa, seis amostras foram ensaiadas para se obter a tensão de tração direta nas juntas.

A tensão de tração dos varios tipos de juntas foi comparada com a tensão de tração do concreto monolítico, e pode ser vista na Fig 7.

Essas pesquisas mostraram o seguinte desempenho das juntas de construção com relação aos diversos tipos de tratamento:

* Ao se ultrapassar de 8 horas o intervalo entre camadas, sem a aplicação de qualquer tratamento, houve uma redução de 25% na aderência da junta;

* O emprego de concreto de berço proporcionou um incremento da resistência da junta em mais de 34% , para o mesmo intervalo de tempo entre camadas;

* A limpeza da junta de construção do CCR, com jato d'água a baixa pressão mostrou uma pequena melhoria da junta de construção (16% ao se comparar as condições V e II).

ENSAIOS EXECUTADOS PELO T.V.A. (TENNESSEE VALLEY AUTHORITY)

É interessante e oportuno relembrar os resultados de “ensaios de campo”, obtidos com CCR, pelo Tennessee valley Authority, [9] em 1971 quando ainda a tecnologia do CCR estava no início.

O aterro experimental tinha 10m de comprimento, 5m de largura, e 1,2m de altura. O concreto “no-slump”, utilizado tinha $D_{max}=76\text{mm}$, 56Kg/m^3 de cimento e 77Kg/m^3 de cinza volante.

O concreto foi lançado em duas camadas de 60cm, e compactadas cada uma com rolo vibratório de 15t. O intervalo de lançamento entre as camadas foi de 24 horas, estabelecendo uma junta horizontal de construção à meia altura, a qual não recebeu nenhum tratamento. À idade de 3 meses foram extraídos 12 testemunhos verticais, devidamente espaçados, de toda altura do aterro, e dois testemunhos horizontais, com 5m de comprimento, obtidos no plano da junta. De maneira aleatória foram selecionados corpos de prova , a partir dos testemunhos, para os seguintes ensaios de laboratório:

- 24 ensaios de resistência à compressão;
- 16 ensaios de resistência à tração;
- 25 ensaios de resistência ao cisalhamento;e
- 7 ensaios de permeabilidade da junta.

Essas pesquisas revelaram:

- | | | |
|---------------------------------------------------------|-----|---------------------|
| - Resistência média à compressão | 219 | Kgf/cm ² |
| - Resistência média ao cisalhamento da junta sem tratar | 21 | Kgf/cm ² |

- Resistência à tração (80% da Resistência média a compressão =
219x0,8x0,1) 17,5 Kgf/cm²

Esses resultados, embora pioneiros, mostram concordância com aqueles obtidos em Serra da Mesa.

CONCLUSÕES

Concreto massa convencional

- *Para se ter um adequado tratamento da junta de construção, a utilização do jato d'água sob alta pressão equivale ao jateamento com areia;*
- *O emprego do "corte-verde" com adequado controle, dentro de um período de 5 dias entre concretagens, proporciona um tratamento equivalente ao obtido pelo jato d'água sob alta pressão;*
- *Uma junta de construção preparada quer pelo "corte-verde" , quer pelo jato d'água sob alta pressão, sem o emprego da película de argamassa, terá resistências ao cisalhamento, aderência, tração, superior a 85% das do concreto monolítico, o que assegura o desempenho monolítico da junta.*
- *A rugosidade da junta de construção não tem influência significativa no desempenho ou nas resistências da junta;*
- *O emprego da película de argamassa mostra benefícios somente quando não se efetuar uma adequada limpeza da junta;*

O coeficiente de permeabilidade das juntas de construção sem qualquer tratamento, e sem película de argamassa, é de aproximadamente 10^{-10} m/s ou 90% da permeabilidade obtida para o concreto monolítico. Com o emprego de "corte-verde" ou jato d'água sob alta pressão, e sem o uso de película de argamassa, a junta de construção é tão impermeável quanto o concreto monolítico.

Concreto compactado a Rolo (CCR)

- *Ao se ultrapassar de 8 horas de intervalo entre camadas, e sem o emprego de qualquer tratamento ou uso de "concreto de berço", a junta poderá enfraquecer até 25% com relação a junta com menos de 8 horas de intervalo entre camadas;*
- *O uso de "concreto de berço" ou de película de argamassa aumenta a resistência à aderência da junta de aproximadamente 30%, considerando o mesmo intervalo de tempo entre o lançamento das camadas;*

A limpeza da superfície da junta de construção, com jato de água e ar, incrementa a aderência da junta em aproximadamente 16%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS - VER TEXTO ORIGINAL

FIGURAS - VER TEXTO ORIGINAL

F.R.Andriolo.