

## *HIDROGEOFÍSICA DO POÇO FAZENDA CANGUIRI / PR*

*GERALDO GIRÃO NERY \**  
*ERVANI F. DA ROSA FILHO \*\**

### *RESUMO*

Sugere-se, no presente trabalho, um uso simplista para a Hidrogeofísica de Poço, através do relato dos resultados obtidos em um estudo de caso em poço tubular de 51 metros, em sedimentos quaternários, perfurado na Estação Experimental de Pesquisas Hidrogeológicas da Universidade Federal do Paraná. O poço, denominado de Escola 02 - Fazenda Canguiri, foi perfilado pela *HYDROLOG* obedecendo a um programa econômico, porém eficiente na quantificação de um número mínimo necessário de parâmetros petrofísicos das rochas atravessadas. Programas de perfilagem similares a este, são mais do que suficientes para a determinação de uma razoável variedade de propriedades úteis aos estudos hidrogeológicos, tais como: espessuras, litologias, argilosidades, porosidades, salinidades e teores de sólidos totais dissolvidos. O modelo de interpretação aqui apresentado poderá ser adotado, e extrapolado, para outras áreas, desde que se disponha dos mesmos tipos e quantidade de perfis de poços, cuja qualidade seja igual ou superior ao anexo, devidamente organizados e bem administrados em um banco de dados.

Este trabalho faz parte do Programa de Suporte Técnico aos clientes da *HYDROLOG*.

---

\* *HYDROLOG Serviços de Perfilagens Ltda. Diretor de Marketing - Telefax (071) 358 - 5540*  
\*\* *Coordenação de Pós-Graduação em Geologia da UFPR - Fax (041) 266 - 2393*

## 1. INTRODUÇÃO

Os perfis geofísicos de poço, desde há muito utilizados na indústria do petróleo, vem ganhando, aos poucos, espaço na Hidrogeologia. Eles devem ser usados exaustivamente, mesmo quando o programa de perfilagem escolhido seja o mais econômico possível. A quantidade de informações que se obtém deles é impressionante. Litologias, espessuras, porosidades, argiloidades e teores de sólidos dissolvidos totais (TDS), são os dados mais significantes e úteis para a exploração e a lavra da água subterrânea. O retorno do investimento em perfis é imediato, principalmente quando interpretados por alguém experiente e capacitado a extrair ao máximo todas as informações neles contidas. Este trabalho, sugerindo um uso bastante simplista dos perfis, apresenta o estudo de caso de um poço, de apenas 51 metros de profundidade, perfurado em sedimentos quaternários na área de Curitiba, Paraná, e perfurado com Raios Gama, Indução (SP, Normal Curta e Resistividade 6FF40), Sônico (porosidade) e Caliper (diâmetro do poço).

A geologia da área é representada pela Formação Guabirotuba, cuja constituição litológica é composta, predominantemente, por sedimentos argilosos e secundariamente por arenitos arcoseanos. Nas imediações da Fazenda Canguiri, os arenitos ocorrem de forma contínua em uma área de aproximadamente 42 quilômetros quadrados, sendo que a espessura dos mesmos varia entre 5 e 18 metros. Essas rochas ocorrem sotopostas a um pacote argiloso cuja espessura varia de 30 a 60 metros. A permeabilidade dos arenitos é da ordem de  $1,7 \times 10^{-4}$  m/s, o que permite uma velocidade máxima de entrada de água nos filtros de aproximadamente  $1,3 \times 10^{-2}$  m/s. Em termos hidrogeológicos, a referida formação geológica comporta-se como um aquífero semi-confinado, em algumas áreas, e como um aquífero confinado, em outras. Os valores dos coeficientes de armazenamento variam de  $3,0 \times 10^{-3}$  a  $2,4 \times 10^{-4}$ . A recarga do aquífero é da ordem de 16 l/sxKm<sup>2</sup>. A vazão máxima permissível de exploração do poço é da ordem de 30 m<sup>3</sup>/h.

Dois poços foram perfurados na referida fazenda. O poço nº 1, de 50 metros de profundidade, com vazão da ordem de 8.000 l/h, teve a sua coluna litológica descrita (de acordo com as amostras de calha) como tendo 30 metros iniciais de argila e 20 metros finais de areia arcoseana. Foi revestido, a partir do fundo do poço, com 18 metros de filtros com 0,5 mm de abertura e um percentual de área aberta da ordem de 6%. Este poço não foi perfurado e nem desenvolvido. A eficiência do poço, da ordem de 45%, é causada, em parte, pela lama de perfuração (bentonita) que, sem o processo de desenvolvimento do poço, permanece como material de impermeabilização da parede do mesmo, igualmente nas suas imediações. Alguns dos elementos físico-químicos determinados na água foram (mg/l): Fe = 0,14; Mn = 0,005; K = 1,4; Mg = 7,70; Ca = 21,6; Cl = 1,4; Nitratos = 45,01; Fluoretos = 0,14; pH = 8,09; Dureza Total = 123 e Sólidos Totais Dissolvidos (TDS) = 153.

O poço nº 2, foi construído com apenas 6 metros de filtros espiralados, abertura de 2,5 mm, percentual de área aberta da ordem de 50%. O poço foi desenvolvido com ar comprimido e plungeoado e a vazão obtida foi de 30.000 l/h. Com base nas curvas dos perfis (em anexo), interpretou-se a sua litologia, basicamente composta de intercalações de areias e argilas. O aquífero mais espesso, de argiloidade razoável, de características resistivas e porosas favoráveis, localiza-se entre 34,3-39,6 metros, com uma intercalação argilosa de 0,8 metros. Este intervalo foi, efetivamente, coberto pelos 6 metros de filtros.

Através desta simples comparação de procedimento operacional, verifica-se que sem os perfis se torna muito especulativo o posicionamento de filtros. No poço nº 1, não se economizou filtros e perdeu-se a chance de uma maior vazão específica. No poço nº 2, economizou-se em filtros, posicionando-os no aquífero mais favorável e ganhou-se em vazão. Fica claro que, a utilização rotineira dos perfis geofísicos de poço pode ser traduzida, além dos termos econômicos, em benefícios que eles proporcionam à pesquisa hidrogeológica, como o fazem na do petróleo.

As diferenças entre as espessuras estimadas pela perfuração e as calculadas pelos perfis tenderão a ser, cada vez maiores, a proporção em que os poços se tornam mais profundos. Isto se dá,

devido ao tempo de permanência da lama em circulação sob pressão, desde a profundidade de corte da broca até a superfície. Tal fato favorece os desmoronamentos e as incorporações de sólidos, enquanto a perfuração avança. Desmoronamentos e incorporações, aliados ao tempo de retorno da lama, comprometem as espessuras e profundidades indicadas pelas amostras de calha. Conclusão lógica desse fato: as espessuras determinadas através dos perfis são muito mais realistas do que as da perfuração, benefício inicial do uso rotineiro dos perfis geofísicos de poço.

## 2. DADOS SOBRE OS PERFIS CORRIDOS NO POÇO

O poço Escola 02 - Fazenda Canguiri / UFPR, foi perfurado pela *HYDROLOG* no dia 08/07/1994. Conforme já é de conhecimento da maioria dos hidrogeólogos, esta companhia de serviços foi constituída dentro dos padrões de qualidade e calibração preconizados pelo American Institute of Petroleum - API e é possuidora de uma tecnologia de última geração e pessoal altamente habilitado. As suas ferramentas de uso nos poços ("downhole"), são as mesmas do petróleo, de maiores diâmetros do que as dos equipamentos convencionalmente utilizados na água, portanto, com menores efeitos do poço e lama. Seus perfis registram dados mais próximos da realidade das rochas do que aqueles realizados com os equipamentos portáteis.

O perfil do Potencial Espontâneo (SP), como era de se esperar, mostra pouca resolução uma vez que a lama apresentou uma salinidade equivalente a 300 ppm de NaCl. Este valor é bastante semelhante aquele das águas intersticiais dos aquíferos atravessados pelo poço. Dessa forma as salinidades das águas devem ser próximas àquela concentração salina.

O perfil de Raios Gama (RG), individualiza bem as camadas arenosas das argilosas. Os arenitos arcoseanos não são totalmente limpos, porquanto apresentam uma argiloidade variando de 18 a 33%. Usando-se somente o perfil anexo, consegue-se mapear um total de 21,3 metros de espessura efetiva de aquíferos, enquanto a perfuração indicou apenas 10,9 metros. Uma perda, portanto, de 10,4 metros (49%) potencialmente produtores. O uso dessa ou qualquer outra espessura adicional (segundo indicação dos perfis), para aproveitamento na produção de água, deve ser realizado em função das demais propriedades petrofísicas de seus respectivos aquíferos. Uma vez que estas propriedades sejam condizentes com a qualidade desejada para a água, então os perfis já iniciam a beneficiar o investidor. Maior a espessura, maior a possibilidade de vazão, ressalvadas, mais uma vez, as qualidades da água e dos aquíferos.

As resistividades (Normal Curta, SN, e Indução Profunda 6FF40, DIR) estão bem calibradas e aproximadas. Elas mostram nas camadas arenosas um gradiente de cerca de 200 Ohm.m nos primeiros metros do poço (o que é natural em virtude de águas meteóricas infiltrantes), caindo para cerca de 25 Ohm.m no intervalo 34,3-39,6 metros. Este gradiente é um indicativo lógico do aumento da salinidade com a profundidade. Os corpos arenosos intermediários apresentam resistividades menores que 20 Ohm.m, devido provavelmente a suas pequenas espessuras, o que pode diminuir, parcialmente, a resolução de alguns perfis.

O perfil de Caliper, mostra a pouca ovalização do poço (apenas onde a curva do Caliper X se separa da do Caliper Y), mantendo-se com um diâmetro médio de 12 polegadas. Houve uma mudança brusca no diâmetro da broca aos 41,5 metros (5 polegadas), até a profundidade final.

O perfil Sônico, quantificador da porosidade das rochas, não foi corrido em todo o poço em virtude de problemas causados pela própria coluna litológica atravessada. A presença de camadas superficiais, bastante inconsolidadas, promoveu um excesso de ruído na curva, prejudicando consequentemente a sua qualidade. Por tal razão o engenheiro operador deixou registrado, no perfil, apenas o intervalo (34-41 metros) que cobre aquele de maior interesse, cuja qualidade está excelente. O tempo de trânsito, naquele intervalo, foi de 155-156 microsegundos/pé, o que calcula uma porosidade da ordem de 38-39%.

### 3. RESULTADOS DA INTERPRETAÇÃO DOS PERFIS

O Perfil anexo, mostra todas as curvas registradas na operação de perfilagem. Foi interpretada e desenhada, pelo autor, uma definição sumária da litologia, para identificação e delimitação dos aquíferos. A Tabela anexa, mostra, resumidamente, os resultados quantitativos da interpretação. No Apêndice anexo, são mostradas todas as equações e definições dos parâmetros usados nos cálculos. O Gráfico XY anexo, visualiza os resultados da tabela.

Pelo fato de não se ter a curva do Sônico nas areias acima de 30 metros, optou-se pelo uso de valores superiores aqueles registrados no intervalo 34-41 metros. Isto é, admitiu-se um tempo de trânsito da ordem de 180 microsegundos/pé, bastante real para uma situação de pouca profundidade e inconsolidação das camadas superficiais. Tais características corresponderiam ao comportamento anômalo registrado para o tempo de trânsito das rochas (e com alto percentual de ruído), bem próximo ao dos fluidos (tempo de propagação do som na água doce = 200 microsegundos/pé). Tudo isto foi confirmado durante a perfilagem.

Para se estimar a salinidade e a resistividade médias (SALm e Rwm) de cada intervalo, optou-se pela média aritmética (exceto dos resultados de Rwa e SALwa, de comportamento anômalo em relação aos demais - ver a tabela e o gráfico). Atribui-se tal comportamento ao fato de a ausência do perfil Sônico, ao longo das camadas de folhelho, não ter permitido a realização de correções das porosidades e resistividades pelo efeito da presença de argila dispersa nos aquíferos. Além do mais o exato valor do parâmetro "m" de Archie (1942) não era conhecido para a área, estimando-se um valor mundial de 1,5, para rochas não consolidadas.

Com as salinidades finais ou médias (SALm), e suas respectivas Resistividades (Rwm), ambas equivalentes a soluções de NaCl, partiu-se então para o cálculo dos Teores de Sólidos Dissolvidos Totais (TDS). Como não se dispunha de dados específicos, para a área onde se localiza o poço em questão, usou-se o valor médio anteriormente determinado pelo autor para as bacias do Recôncavo e Tucano:

$$TDS = 2500 / Rwm^{0,9}$$

Pelo fato de ter sido derivado de uma outra bacia, e em rochas cretácicas, os resultados apresentados em TDS devem ser encarados com certa reserva, podendo, todavia, corresponder muito bem a realidade da área. Para tanto, se torna necessário que sejam realizados testes de vazão, em intervalos isolados e específicos, e que as águas recuperadas sejam analisadas hidroquimicamente quanto ao TDS e resistividade. Este procedimento é denominado de "correlação rocha x perfil", e é realizado rotineiramente pela indústria do petróleo. Bem que ele poderia ser adotado na indústria da água, em que pese o seu maior custo.

Lamentavelmente, na indústria da água, não é norma operacional a realização de testes isolados para cada aquífero. Dessa forma os seus resultados, geralmente, correspondem a uma mistura fluida, o que, eventualmente, não poderá se correlacionar cem por cento com os dados extraídos dos perfis. Passada essa fase de estudos, o custo dos perfis, por si somente, retornariam como benefícios nas extrapolações que poderão ser realizadas entre poços de uma mesma área ou de áreas vizinhas. Vale a pena mudar de procedimento e gastar um pouco mais em busca de maiores benefícios, isto é, de maiores propriedades hidrogeofísicas.

Admitindo-se que a equação acima esteja razoavelmente dentro dos padrões da área, o aquífero coberto pelos filtros do poço nº 2 (34,3 - 39,6 m), apresentaria um valor final médio de TDS da ordem de 208-217 mg/l, valor este abaixo do padrão internacional de potabilidade, muito embora um pouco além daquele estabelecido para o poço em questão (153 mg/l).

### 4. CONCLUSÕES

Os perfis geofísico de poço se transformam, a cada dia que passa, na arma exploratória por excelência do hidrogeólogo, a exemplo do que já faz o geólogo de petróleo desde 1927. Os perfis têm credibilidade mundial e devem ser constantemente correlacionados com os resultados de campo. Sem a correlação rocha x perfil, sua utilização se torna muito mais do que empírica e especulativa, o que poderá vir a desestimular o usuário ocasional. O estabelecimento de uma rotina operacional aumentará o prazer do desafio mostrado pelos perfis de cada poço, em particular, e aumentará, também, a confiança dos intérpretes em seus cálculos, desde que ele faça, sempre, comparações de resultados.

O intervalo 34,3-39,6 metros deste poço, apresenta uma porosidade ( $\phi$ ) aproximada de 40% e uma espessura efetiva de areia de h = 4,5 metros, portanto, um valor de transmissividade da ordem de  $7,65 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ . Este último valor, juntamente com vazões de  $30 \text{ m}^3/\text{h}/\text{poço}$ , quando aplicado na equação de Thiem, resulta, por exemplo, em rebaixamentos da ordem de 12 m, o que significa valores de capacidades específicas da ordem de  $2,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ . Para esses casos, é evidente, tornam-se necessárias eficiências não inferiores a 85%.

Caso a ocorrência deste aquífero apresente a extensão areal de  $A = 42 \text{ km}^2$ , o volume total de água capaz de ser armazenada pelo referido reservatório será:  $\text{VAR} = A \cdot h \cdot \phi$ , ou,  $\text{VAR} = 42.000.000 \text{ m}^2 \times 4,5 \text{ m} \times 0,4 = 75.600.000 \text{ m}^3$ . Um simples cálculo como este, com base em dois parâmetros definidos pelos perfis (h e  $\phi$ ), poderá fazer o hidrogeólogo ver o quanto de água poderá ser extraída do subsolo, caso a disposição dos filtros seja definida através da perfilagem geofísica de poço, e não somente baseada em análises de amostras de calha. A perfilagem poderá, com certeza, onerar o custo do poço mas abre espaço tecnológico para a racionalização e aproveitamento dos aquíferos de propriedades realmente interessantes.

Não se tenta justificar aqui, necessariamente, que estas espessuras "escondidas" pelas amostras de calha, devam ser usada para o abastecimento de água, mas se tenta ilustrar um erro de 49% em espessuras no caso de um poço de apenas 51 metros !

### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GIRÃO NERY, G. (1994) Geofísica em Poço Tubular para Água, HYDROLOG, Salvador, 57 pp.

ARCHIE, G. E. (1942) The Electrical Resistivity Log as an Aid in Determining Some Reservoir Characteristics: Am. Inst. Mining Metall. Engineers Transactions, vol. 146, p. 54-62.

**APÊNDICE**

**I. DEFINIÇÕES DOS TÊRMINOS USADOS NA TABELA ANEXA**

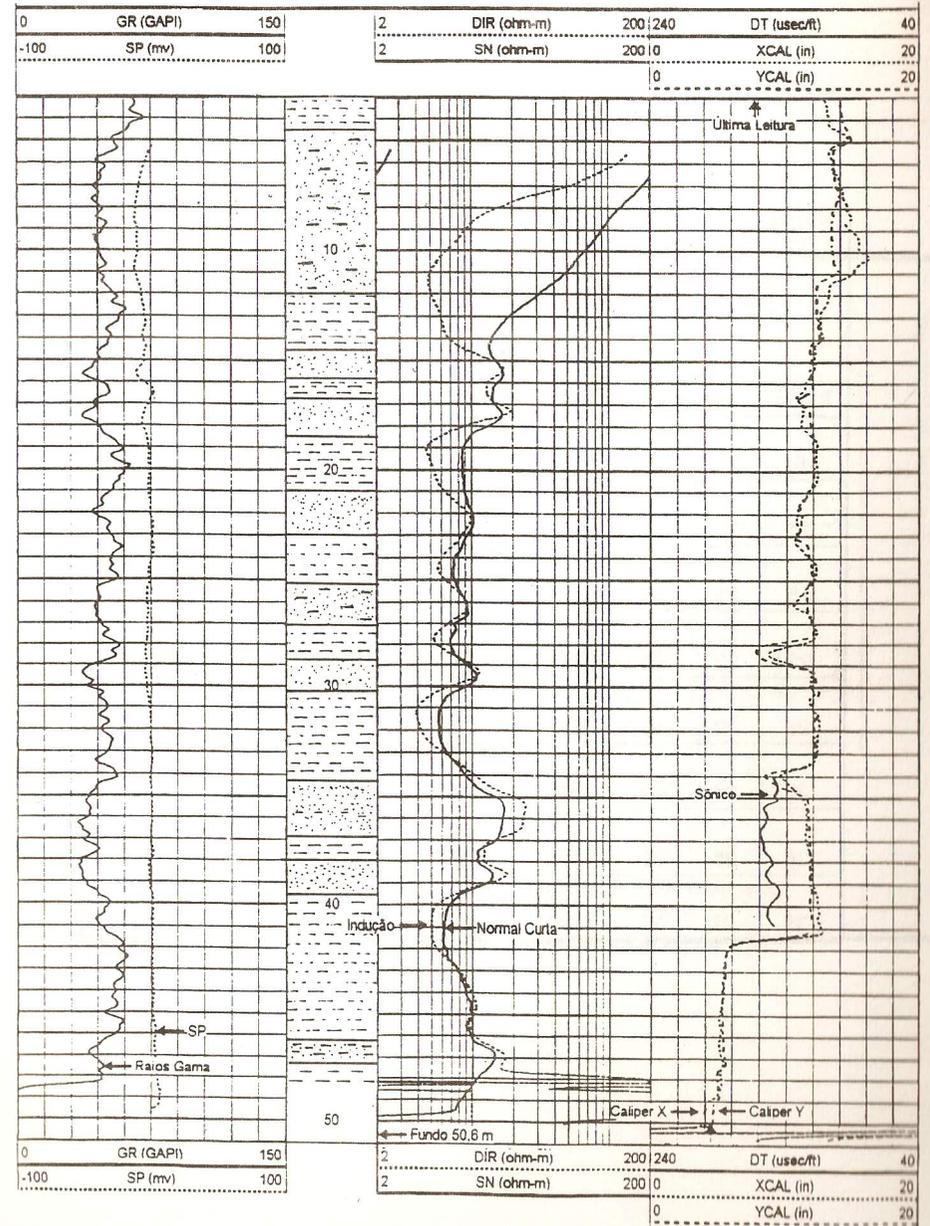
- PROF = Profundidade do aquífero.
- VSH = Volume Percentual de Folhelho presente na camada. Argilosidade.
- PHIS = (  $\phi$  ) Porosidade Percentual calculada com o Sônico.
- SAL(SP) = Salinidade determinada com o Potencial Espontâneo (SP); em ppm de NaCl.
- SAL(xo) = Salinidade determinada com a Normal Curta (SN); em ppm de NaCl.
- SAL(wa) = Salinidade determinada pelo Método do Rwa mínimo; em ppm de NaCl.
- SAL(m) = Salinidade média calculada com SAL(SP) e SAL(xo); em ppm de NaCl.
- TDS(m) = Teor de Sólidos Dissolvidos Totais, determinado com a SAL(m); em ppm.

**2. EQUAÇÕES PARA A RESOLUÇÃO DA TABELA ANEXA**

- VSHGR =  $(GR - GRMIN) / (GRMAX - GRMIN)$
- VSH =  $VSHGR / (3 - 2 \times VSHGR)$
- PHIS =  $((t - tma) / (tf - tma)) \times (100 / tsh)$
- Rw(SP) =  $0,85 \times Rmf / 10^{(SP / 65 + 0,24 \times FT)}$
- SAL(SP) =  $10^{(3,562 - \text{Log}(RwSP - 0,0123)) / 0,955}$
- Rw(xo) =  $(DIR \times Rmf) / SN$
- SAL(xo) =  $10^{(3,562 - \text{Log}(Rw(xo) - 0,0123)) / 0,955}$
- Rwa =  $PHIS^{1,5} / DIR$
- SAL(wa) =  $10^{(3,562 - \text{Log}(Rwa - 0,0123)) / 0,955}$
- Rwm =  $\{Rw(xo) + Rw(SP)\} / 2$
- SAL(m) =  $10^{(3,562 - \text{Log}(Rwm - 0,0123)) / 0,955}$
- TDS(m) =  $2500 / Rwm^{0,9}$

**3. DEFINIÇÕES DOS TÊRMINOS USADOS NAS EQUAÇÕES**

- GR = Valor lido no perfil de Raios Gama defronte ao aquífero (em Unidades API).
- GRMIN = Menor valor lido defronte ao aquífero ou o valor mínimo dele na área
- GRMAX = Valor lido defronte a corpos espessos de folhelho (UAPI).
- t = Tempo do som lido defronte ao aquífero (em us/pé).
- tma = Tempo do som nos grãos ou matriz do aquífero (arenito = 55,5 us/pé).
- tf = Tempo do som no fluido intersticial do aquífero (água doce = 200 us/pé).
- tsh = Tempo do som nos folhelhos (valor razoável para a área = 180 us/pé).
- Rmf = Resistividade do filtrado da lama e que é anotado no perfil (em Ohm.m).
- SP = Valor do SP lido defronte ao aquífero (em milivolts).
- FT = Temperatura do aquífero em °C (adotar o grau geotérmico da área).
- DIR = Resistividade lida no Indução defronte ao aquífero (em Ohm.m).
- SN = Resistividade Normal Curta do Indução defronte ao aquífero (em Ohm.m).
- TDS = Teor de Sólidos Totais Dissolvidos (em ppm).



HYDROLOG

POÇO FAZENDA CANGUIRI / UFPR

GIRÃO - JUL/94

| PROF | VSH | PHIS | SAL(SP) | SAL(xo) | SAL(wa) | SAL(m) | TDS(m) |
|------|-----|------|---------|---------|---------|--------|--------|
| 6    | 33  | 48   | 386     | 465     | 67      | 426    | 281    |
| 15   | 33  | 48   | 431     | 327     | 940     | 379    | 252    |
| 18   | 21  | 48   | 404     | 259     | 744     | 332    | 219    |
| 22   | 22  | 48   | 379     | 341     | 1539    | 360    | 244    |
| 26   | 33  | 48   | 393     | 346     | 1720    | 370    | 250    |
| 30   | 18  | 48   | 395     | 341     | 1393    | 368    | 248    |
| 36   | 25  | 39   | 425     | 228     | 901     | 327    | 208    |
| 39   | 21  | 38   | 441     | 241     | 1184    | 341    | 217    |

FZCANG2.WQ1

POÇO FZ CANGUIRI / UFPR

