



生效日期：2010 年 6 月 30 日



VALE S.A.

礦產儲量外部審計

第 2 卷，第 7 節

SALOBO 礦場

提交：

Vale Inco Limited
2060 Flavelle Blvd, Sheridan Park
Mississauga, Ontario
Canada L5K 1Z9

REPORT

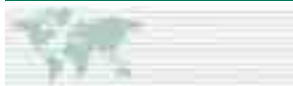
項目編號：10-1117-0032 Phase7000

分發：

1 份送交：Vale Inco Limited

1 份送交：Golder Associates Ltd.





行政概要

Golder Associates S.A.代表 Marcelo Godoy 博士、Ronald Turner 先生和 Roberto Valdés 先生於 2010 年 6 月 21 日至 25 日到礦場考察，並對 Vale 為 Salobo 銅礦項目估算的礦產資源和礦產儲量進行獨立審計。

在實地考察中，他們視察了開採業務、與相關人士接洽會談，並收集了必要的資料，以評估礦產資源及礦產儲量估算數據及方法的適當性。為本次研究過程中所接洽的人員名單包括：

- 銅礦場計劃和質量控制總經理 Roberto Albuquerque e Silva
- 長期採礦計劃經理 Juarez Lopes de Moraes
- 總地質專家 Benevides Aires Filho
- 地質數據專家 Cassio Diedrich
- 長期勘探計劃工程師 Sandro Freitas
- 長期勘探計劃工程師 Frederico Santana Castro
- 業務總經理 Paulo Henrique de Godoy
- 礦物加工工程師 Evandro Costa e Silva
- 質量控制和港口營運經理 Eugenio Oliveira
- 經濟評估 Aline Salgado
- 環境工程師 Mario Pacheta
- 環境地質專家 Daniela Gaspar

本研究包括審查從 Vale 獲取的技術報告、備忘錄及支持性技術資料。Vale 亦向 Golder 提供了以往的內部和外部技術審查及審核報告（如 Snowden 礦業諮詢公司於 2009 年 8 月進行的礦藏獨立審核）。

向 Golder 提供的礦產儲量估算採用 CIM (2004)指定術語，當符合證券交易委員會的行業指引 7 及加拿大國家礦物開採(NI) 43-101 標準的規定，且未發現任何不符合規定的情況。

日期為 2010 年 6 月 30 日為 Vale 所編製的礦產儲量報告已經 Golder 審核。經 Golder 審核的礦產儲量乃以礦產資源模型為基礎，使用成本、最優化、採礦設計及適當的製表方式進行編製。Golder 採納將礦產資源轉換為礦產儲量的程序。所列數字就公開報告而言乃屬適當，因為其可提供可接受的礦產儲量預測。噸數及品位乃基於文件記錄的成本及價格按適當的經濟邊界品位列報。

下表中的礦產儲量數據按公開報告的適當精確水平載列。

2010 年 6 月 30 日 Salobo 項目估算礦產儲量

礦場	探明			可能			探明及可能		
	噸 ^a (Mt)	銅 (%)	金 (g/t)	噸 ^a (Mt)	銅 (%)	金 (g/t)	噸 ^a (Mt)	銅 (%)	含金量 (g/t)

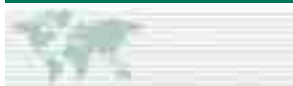


SALOBO 礦場審計

Salobo	569.2	0.75	0.48	554.1	0.64	0.42	1123.3	0.7	0.45
--------	-------	------	------	-------	------	------	--------	-----	------

重要意見

- *Salobo* 地段目前正進行前期剝離。合約採礦業務已於 2009 年 4 月有效地展開，採礦目標是每月約 500,000 立方米，直至採礦業務開始為止。該營運將會是典型的大型卡車／挖斗機作業，使用 240 噸的卡車和 26-32 立方米的水壓和電動挖斗機。
- *Golder* 認為樣本準備程序就估計資源量而言是恰當的。
- 由於 *Salobo* 的精粉含有較高氟石成分，故為精粉物色適當買家是將礦產資源量轉化為礦產儲量的一大關鍵。處理氟石的技術是存在的，並可對標準熔爐作出相對上並不複雜的改動而應用該項技術。在現時的合約中，*Vale* 須就氟石成分支付的罰款定為每磅 0.04 仙。
- *Salobo* 礦場擁有足夠範圍用作堆積廢料及處置尾礦以為 *LOM* 計劃及進而的礦產儲量提供支持。在礦場設計中，已適當地應用地質技術的推薦意見。
- 將估計的礦產資源量轉化為礦產儲量根據適當的礦場設計和規劃而進行的。所呈報的噸數和品位是按照適當的經濟邊界品位而釐定。露天坑優化及經濟分析使用合理的經營成本作為長期估計數字。消耗品的成本是根據 *Sossego* 目前已接洽的合約而釐定。
- 最終礦井設計與所選定的 *Whittle* 礦井殼層之間廢料噸數的差別被認為屬過大及應予以檢討。有關差別可能是由於設計礦場時糅合了邊際相位所致。於任何情況下，該等差別應備有適當的說明文件附以合適的解釋。礦場優化上可能具備相當大的提升潛力。露天採礦的標準差介乎 5% 至 10% 之間。



目錄

7.0	SALOBO 礦場	7-1
7.1	位置	7-1
7.2	所有權	7
7.3	土地年期及採礦權	7-1
7.4	基礎設施	7-2
7.5	生產過程及產品	7-3
7.6	金屬回收率	7-4
7.7	市場	7-5
7.8	生產歷史	7-5
7.9	地質和礦床	7-6
7.10	勘探與開發鑽井	7-11
7.11	礦床採樣方法和數據管理	7-13
7.12	礦產資源估算	7-32
7.13	礦產儲量估算	7-61
7.14	報告的礦產儲量	7-72
7.15	調節和儲量審核	7-72
7.16	環境	7-73
7.17	社區和政府事務	7-74
7.18	經營成本	7-74
7.19	資本成本	7-74
7.20	稅款	7-74
7.21	礦產儲量的經濟性評估	7-75
7.22	礦區服務年限	7-77



表

表 7-1：廢料場分區容量.....	7-2
表 7-2：浮選回收.....	7-4
表 7-3：Salobo 鑽孔項目概要	7-11
表 7-4：Gamik 用於銅和金分析的標準.....	7-20
表 7-5：Salobo 項目的標準分析摘要.....	7-20
表 7-6：副本分析的精確度摘要	7-22
表 7-7：鑽孔數據庫的摘要	7-23
表 7-8：主要岩性的密度基礎統計數據	7-26
表 7-9：岩性模型建模使用的單元的代碼.....	7-27
表 7-10：礦殼中的岩性組合分佈	7-29
表 7-11：根據長度設置劃分的複合物基本數據.....	7-33
表 7-12：總銅和密度的硫化估算區域定義	7-34
表 7-13：金的估算區域定義	7-34
表 7-14：總銅複合物的統計數據摘要（按長度計重）	7-35
表 7-15：金複合物的統計數據摘要（按長度計重）	7-36
表 7-16：密度複合物的統計數據摘要（按長度計重）	7-38
表 7-17：總銅相關圖模型綜述.....	7-41
表 7-18：金相關圖模型綜述	7-42
表 7-19：DTH 和實際金塊效應對比－密度	7-43
表 7-20：密度相關圖模型綜述.....	7-43
表 7-21：Salobo 區塊模型定義.....	7-44
表 7-22：總銅估算方案	7-45
表 7-23：金估算方案	7-46
表 7-24：密度估算方案	7-47
表 7-25：高產處理定義	7-49
表 7-26：按礦產資源分類劃分通過估計的分佈.....	7-60
表 7-27：地質力學坡度分脈	7-62
表 7-28：露天坑優化所用的金屬價格和銷售成本	7-63
表 7-29：用於露天坑優化的加工成本和浮選回收	7-65
表 7-30：按照 Whittle 對所選為最終礦坑限額的礦坑殼的結果	7-66

有效日期：2010 年 6 月 30 日

項目編號：10-1117-0032 Phase 7000

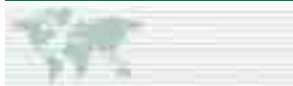


表 7-31：Whittle 最終礦坑和運行設計之間的對比	7-67
表 7-32：當前開採設備	7-68
表 7-33：邊界品位計算所用值	7-69
表 7-34：邊界品位策略	7-71
表 7-35：2010 年 6 月 30 日對 Salobo 項目估計的礦產儲量	7-72
表 7-36：經營成本	7-74

圖

圖 7-1：Sossego 礦場的礦區位置	7-1
圖 7-2：排土場全視圖	7-3
圖 7-3：Salobo 礦場的前期剝離營運，背景中為在建加工廠	7-4
圖 7-4：金和銅浮選回收率	7-5
圖 7-5：Salobo 礦場區域地質特徵（節選自 2010 年 Vale 報告）	7-7
圖 7-6：項目孔位分佈圖	7-11
圖 7-7：回收率數據概率圖	7-12
圖 7-8：鑽探岩芯記錄倉庫	7-14
圖 7-9：用於切割岩芯的電鋸	7-15
圖 7-10：A) 岩芯庫房全視圖 B) 儲存岩芯的木質託盤	7-16
圖 7-11：A) 礦漿和拒收粗粒儲存區的全視圖 B) 裝有拒收礦漿的紙袋	7-17
圖 7-12：Salobo 於 2002-2003 年採樣使用的機械準備圖解示意圖	7-18
圖 7-13：歷史信息的數據室	7-24
圖 7-14：礦床的密度樣本分佈	7-25
圖 7-15：岩性模型的垂直剖面	7-28
圖 7-16：礦化情況模型的垂直剖面	7-28
圖 7-17：非表面鑽探，代表有限新鮮-非新鮮岩石	7-29
圖 7-18：Salobo 垂直截面，表明 XMT 和 CuT 品位之間的相關性。A) 岩性區塊模型 粉色線代表 XMT。B) CuT 品位區塊模型，藍色線 CuT 在 0.2% - 0.6% 之間，紅色線 CuT > 0.6%	7-31
圖 7-19：根據估算區域，總銅均值和標準差的對比	7-35
圖 7-20：估算區域覆蓋總銅累積概率圖	7-36
圖 7-21：根據估算區域，金平值和標準差的對比	7-37
圖 7-22：估算區域覆蓋金的累積概率圖	7-37

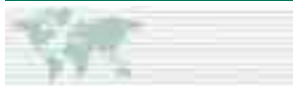


圖 7-23：根據估算區域，密度平均值和標準差對比.....	7-38
圖 7-24：估算區域覆蓋的密度累積概率圖.....	7-39
圖 7-25：目視驗證：總銅礦截面 1 ± 50 米.....	7-51
圖 7-26：目視驗證：總銅礦截面 2 ± 50 米.....	7-51
圖 7-27：目視驗證：總銅礦截面 3 ± 50 米.....	7-52
圖 7-28：目視驗證：總銅礦平面圖@ -70 米 ± 5 米（分脈）.....	7-52
圖 7-29：目視驗證 總銅礦平面圖@ -70 米 ± 5 米（品位）.....	7-53
圖 7-30：目視驗證：金礦截面 1 ± 50 米.....	7-54
圖 7-31：目視驗證：金礦截面 2 ± 50 米.....	7-54
圖 7-32：目視驗證：金礦截面 3 ± 50 米.....	7-55
圖 7-33：目視驗證：密度截面 1 ± 50 米.....	7-56
圖 7-34：目視驗證：密度截面 2 ± 50 米.....	7-56
圖 7-35：Salobo 資源模型的分類方案.....	7-58
圖 7-36：根據分類分析的鑽探網格.....	7-59
圖 7-37：Salobo 分類：「椒鹽效應」.....	7-59
圖 7-38：Salobo 分類：截面顯示了鑽孔周圍的探明礦產資源.....	7-60
圖 7-39：Salobo 礦坑設計和坡度區域.....	7-63
圖 7-40：國際市場銅價格的歷史情況和優化所使用長期價格.....	7-64
圖 7-41：國際市場黃金價格的歷史情況和優化所使用長期價格.....	7-64
圖 7-42：黃金和銅的浮選回收.....	7-65
圖 7-43：優化結果：未折算現金流和淨現值.....	7-66
圖 7-44：礦坑設計和 Whittle 殼之間的對比 — Sossego 礦坑.....	7-67
圖 7-45：Salobo 敏感度分析.....	7-76
圖 7-46：對 Salobo 礦區的生產計劃.....	7-77



7.0 Salobo 礦場

7.1 位置

Salobo 項目是一個銅金礦床，位於巴西北部帕拉州卡拉加斯西北部約 80 公里。項目的地理坐標為南緯 5°47'25」、西經 56°32'5」。圖 7-1 為總體位置圖。

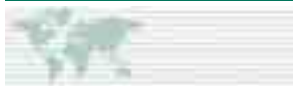
該區域鐵路和公路四通八達，連接多個村莊和城市。在距離 Salobo 約 70 公里的卡拉加斯機場有提供航空服務，可讓商用飛機升降，包括每天兩班飛往 Belém（帕拉州主要城市）和巴西主要城市。Marabá 距離 Salobo 約 240 公里，有高速公路連接。



圖 7-1: Sossego 礦場的礦區位置

7.2 所有權

Vale S.A. 完全擁有 Salobo 項目的物業權。



7.3 土地年期及採礦權

Vale 持有巴西法律規定營運 Salobo 礦場所需的所有租約和許可證。Golder 並沒有發現關於土地年期和採礦權的致命缺陷。

7.4 基礎設施

Salobo 礦場將由 Parauapebas 和 卡拉加斯鎮提供支援，其中大部分員工和承包商來自 85 公里外的 Parauapebas 鎮。

一條新的道路和 230 千瓦的輸電線將連接 Parauapebas 與 Salobo 區。將使用一輛 40 噸的卡車將精粉送往 Parauapebas 以北（90 公里）的鐵路裝載區，然後通過鐵路將精粉運往 São Luís 港口（870 公里）。

已為 Salobo 礦場設計了獨立的大型排土場。出於設計考慮，該排土場被分為 8 個區域，總容量 1.94 百萬噸。

表 7-1 列出了不同排土場區域的容量值。目前的排土場容量完全可以滿足 Salobo 礦場規劃年期（LOM）的廢土處理要求。圖 7-2 顯示了排土場的全視圖。

表 7-1：排土場分區容量

排土場	百萬噸
W1	179.6
W2	234.7
W3	223.1
W4	472.9
W5	230.9
W6	238.2
W7	285.5
W8	71.0
總容量	1,935.9

Salobo 礦場有足夠的區域供支持 LOM 計劃及礦產儲量所需的排土和進行尾礦處理。



圖 7-2：排土場全視圖

7.5 生產過程及產品

Salobo 項目是一個銅金礦床，位於巴西北部帕拉州卡拉加斯西北部約 80 公里。Salobo 項目是含有黃金成份的銅礦。斑銅和輝銅是銅精粉中最常見的礦物。

加工廠的設計容量為每年 24 百萬噸。精粉品位預期含銅量約為 38%。Salobo 項目是一個大型的露天礦井、配備初級破碎和運輸設備、高壓磨輥（HPGR）和球磨機、浮選車間、選礦廠和過濾區。

230 千瓦的輸電線將該礦區與距離 87 公里外的 Parauapebas 連接。精粉利用 40 噸的卡車經公路運往 Parauapebas 以北（90 公里）的鐵路裝載區，然後通過鐵路將精粉運往 São Luís 港口（870 公里）。

該營運為一項利用 232 噸卡車及 26-32 立方米水壓和電動挖斗機的典型大型卡車/挖斗機作業。同時，還將使用大型的裝載機（18 立方米）作為挖斗機的清潔和後援設備。

Salobo 的探明和可能礦產儲量是以能夠實現每年 24 百萬噸的採礦計劃和設計產能為基礎。

作為審查的一部分，Golder 工作人員對工廠建設進行了視察。考察時沒有出現任何工期延誤現象。Sossego 加工廠使用了成熟的科技。

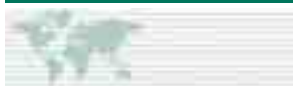


圖 7-3：Salobo 礦場的前期剝離營運，背景中為在建加工廠

7.6 金屬回收率

冶金回收率從 20 年來發展起來的大量試驗計劃中收集數據進行建模。適用於礦區計劃和經濟評估的回收率為計算圖 7-2 中呈列的銅和金品位的參數。

圖 7-2：浮選回收率

加工成本（美元/噸）	8.224
銅回收率（%）	$-0.023 * (1/\text{銅}) + 0.9023$
金回收率（%）	$2.56 * (\text{金}) + 64.9/100$

在圖 7-4 中，可以看到金和銅回收率的差異。對於銅來說，區塊模型內的最高品位為 3.57%，最大回收率可達 90%；對於金來說，區塊模型內最高品位為 5.35g/t，常恒回收率為 79%。

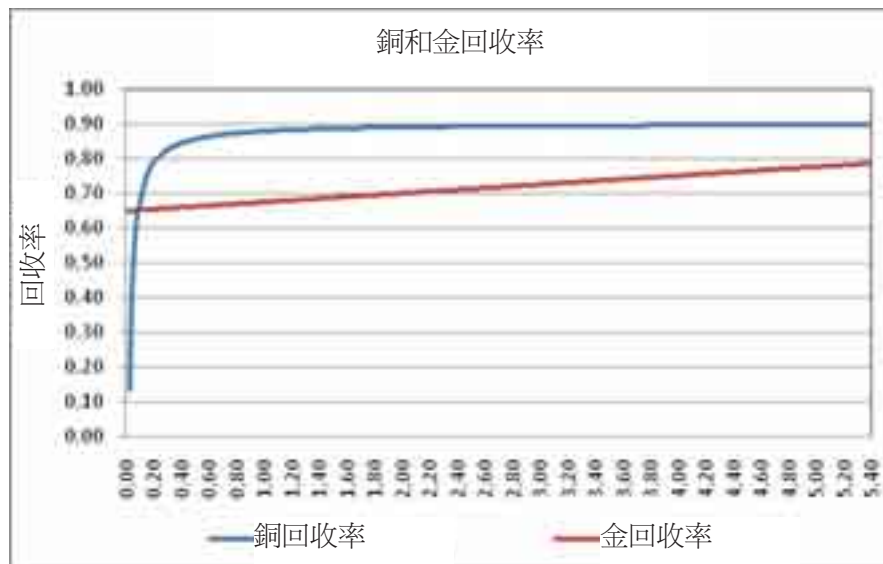


圖 7-4：金和銅浮選回收率

Golder 認為已對冶金回收率進行徹底測試和評估，足以進行礦產儲量開發。

7.7 市場

由於 Salobo 精粉中含有高氟石成份，因此，出現合適的精粉買家將是礦產資源轉變為礦產儲量的關鍵因素。高氟石水平已經使得該項目的開發推遲了近 20 年。

目前，Vale 已經與歐洲精煉廠簽訂了合同，協定在未來的 5 到 10 年內向他們提供精粉。在這些合同中，Vale 承擔的氟石含量罰金固定為每磅 0.04 仙。據 Vale 透露，Vale 正與巴西和國外其他買家就精粉供應展開磋商。

現有處理氟石的技術，標準的精煉廠可以只作相對簡單的改動即可使用該等技術。Golder 相信，這並不會對 Salobo 精粉的未來進行商業化生產構成限制。

7.8 生產歷史

Salobo 礦區目前正在進行前期剝離工作。已訂約的採礦工作於 2009 年 4 月份正式開始，目標在 Vale 採礦工作開始前實現約 500,000 立方米的月採礦目標。該作業為一項使用 240 噸卡車及 26-32 立方米水壓和電動挖斗機的典型大型卡車/挖斗機作業。同時，還將使用大型的裝載機（18 立方米）作為挖斗機的清潔和後援設備。此外還使用 D11 推土機、690B 輪式推土機和卡特彼勒 16H 平地機為採礦作業提供支援。

迄今為止還未進行商業性開採。



7.9 地質和礦床

已對該礦區的地質狀況做了大量的研究，並多次報告中詳細說明了該區域的地質特徵。以下地質特徵描述主要摘錄自 Vale 的 2010 報告「Salobo 礦場 2007/2008 地質和資源區塊模式」。

區域地質特徵

卡拉加斯礦區位於巴西帕拉州東南部，呈現太古代晚期 S 形盆地地形，由西北偏西向東南偏東伸延。該地形還出現多處西北偏西-東南偏東朝向的長形延伸區域，如卡拉加斯和 Cigano 左移斷層區域。一些東南和西北朝向的斷層系統也橫越該區域。

卡拉加斯火山-沉積層序主要包含雙峰火山岩、化學沉積物，包括擁有世界上最大鐵礦床的帶狀鐵礦（BIF）及火山碎屑沉積物。

構造斷塊的北部區域被稱為 Itacaiúnas 超級組，從上自下臨時性地被分為：

- Igarapé Bahia 組塊 – 包含鐵鎂火山岩 – 火山岩漿、凝灰岩和角礫岩、變質沉積物和 BIF，並包含銅、銅-鐵、銅-金-鎂-銀礦藏，包括重要的銅-金礦藏。
- Grão Pará 組塊 – 包括由雙峰火山岩組成的熱液蝕變、變質和變形程度各異的 Parauapebas 基礎構造。卡拉加斯地層寄主由 Vale 開採的巨大鐵礦床（180 億噸@ 含鐵量 15%），而 Parauapebas 地層則被地層覆蓋。
- Igarapé Pojuca 組塊 - 作為中級火山岩（時常出現堇青石-直閃石變換）、閃岩、片麻岩和化學沉積物角岩、氧化矽酸鹽表面帶狀鐵礦（BIF）和不同組態片岩的基礎。
- The Igarapé Salobo 組塊 – 呈石英岩、片麻岩、變形閃岩表面的含鐵沉積岩，包括 Salobo 的銅-金（鎂）礦床。
- Carajás 基層序列構成片麻岩地形，並含有太古代綠岩帶殘留物。該州的銅、金礦化與太古代長英礦侵入岩體有關（Plaquê and Estrela 花崗岩）。原生代非造山期長英礦侵入岩體（岩脈）和中生代鐵鎂岩脈橫穿卡拉加斯序列層和片麻岩地層。

卡拉加斯單元被太古代侵入岩入侵，如 Plaquê Suite 城石灰（27.7 億年歷史）、Salobo 和 Estrela 鹼性花崗岩（25 億年歷史），都與卡拉加斯地區的銅-金礦化情況有很大關聯。鐵鎂岩體的年代各有不同，其中包括一些後礦物岩脈卡拉加斯中心花崗岩（Cigano 和 Pojuca）中的原生代 Suite 鹼性花崗岩（18.8 億年歷史）也同樣入侵卡拉加斯序列層。一些初期鐵鎂岩脈橫穿整個序列層。圖 7-5 詳細描述了該區域的地質狀況。

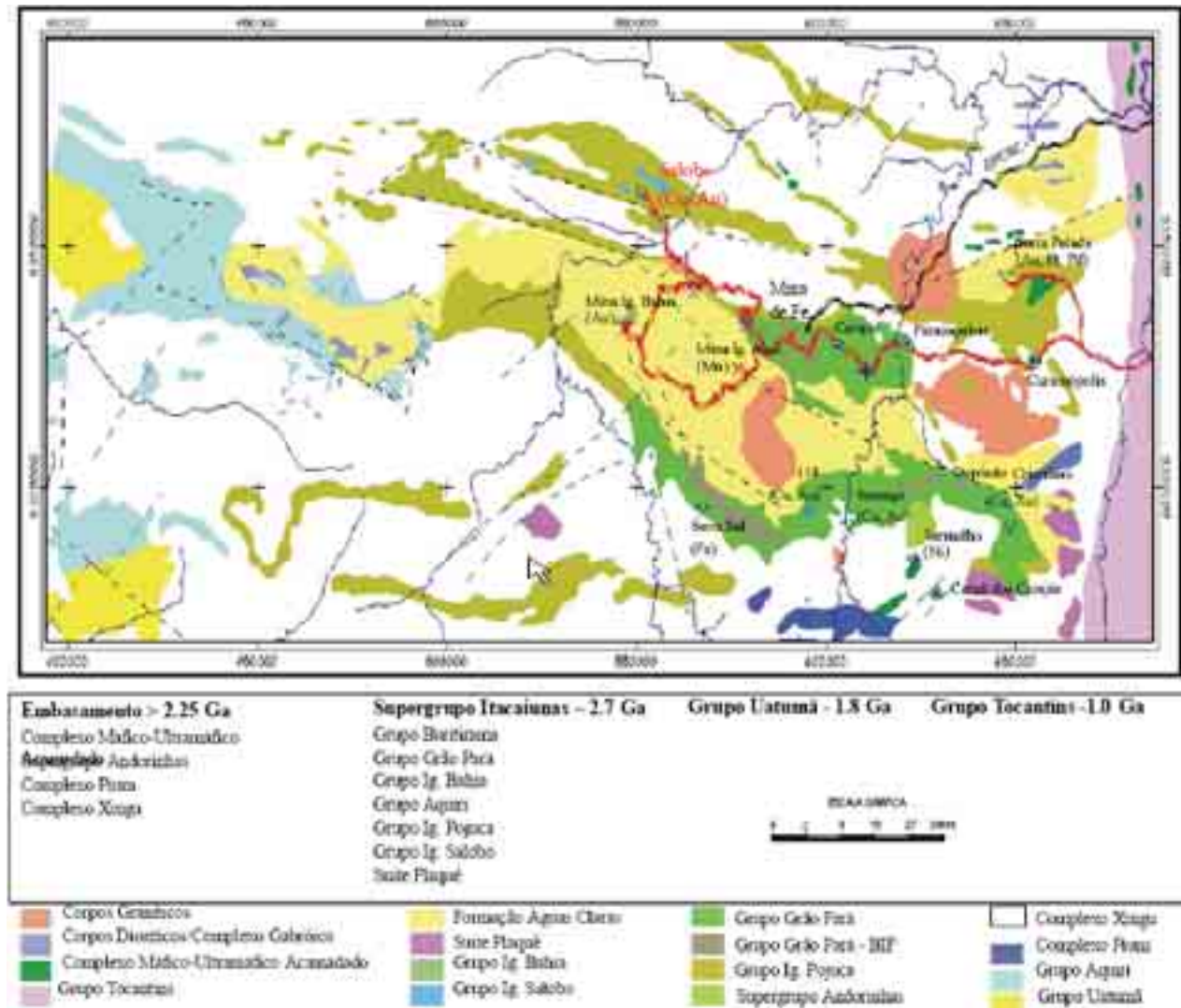


圖 7-5 : Salobo 礦場區域地質特徵 (節選自 2010 年 Vale 報告)

本地地質特徵

岩性

磁鐵礦片岩 (XMT)

使用主要磁鐵礦、鐵橄欖石、鐵閃石、鐵鋁榴石和次級黑雲母替代巨大的葉片帶狀岩石。花崗變晶狀結構中出現多邊形磁鐵礦和鐵橄欖石屬正常現象。鐵橄欖石以鐵閃石和鐵蛇紋石的替代物為特徵，可轉變為磁鐵石和硫化物。可以進行鐵的鉀化，通過黑雲母加壓形成岩石片理。沉積岩東南部分的富鐵納閃石通常由陽起石、鐵閃石和硫化物部分替代。替代過程中出現的不同氟石比例、凝灰石、石墨和二氧化鈦與該組態、鐵-矽酸鹽礦物和鐵橄欖石變體有關。



石榴石-鐵閃石-片岩 (DGRX)

相當於大塊岩石，含有本地片理構造。含有重要鐵鋁榴石和鐵閃石成份的岩石具有各項同性質地或非常簡單的片理構造，並呈現纖維狀變晶質和花崗變晶質形態。主要礦物成份包括鐵鋁榴石和鐵鎂閃石-鐵閃石，其中含有磁鐵礦、赤鐵礦、鈦鐵礦、黑雲母、石英、綠泥石、電氣石和次級褐石等。氟石和瀝青鈾礦通常出現在呈現黑硬綠泥石、方解石和鐵閃石狀態的細葉岩脈中。

黑雲母片岩 (BDX)

該單位是 Salobo 最普遍的岩性單位，包括中性至粗粒度吻合頁理礦物。礦物構造以黑雲母（針對岩石中發現的頁理）、石榴石、石英、磁鐵礦和綠泥石為特徵。石榴石、磁鐵礦、鐵閃石和黑雲母組合將部分由包含綠泥石、鉀長石、石英、赤鐵礦和硫化物的第二代黑雲母和磁鐵礦取代。電氣石、凝灰石、褐石、石墨和氟石一般出現在該岩相處理過程中。

長石-綠泥石糜棱岩 (ML)

長石-綠泥石-石英糜棱岩以糜棱狀葉理為特徵，由亞氯酸鹽變形黑雲母、富鐵納閃石、拉長石英和槽化斜長石（鉀-長石、綠簾石和白雲母變體）製成。斑狀變晶石榴石由綠泥石和綠簾石部分和完全取代。褐石和凝灰石一般在此岩相處理過程中出現。

金屬火山岩基 (MTB)

該大型粗粒岩石組塊以富鐵納閃石和／或角閃石和斜長石為特徵，可轉變為綠泥石（原為閃石）。系統中存在散發性入侵現象，但是與其他煤岩類型存在突變接觸相容性，也可能在熱液作用下出現火山岩基礎殘留入侵變形。

石英糜棱岩 (QML)

石英糜棱岩呈灰色或白色，從綠色變為紅色。氧化鐵呈細粒葉片狀，並含有石英、白雲母、矽線石和綠泥石。通常出現的附屬物質為黑雲母、長石、磁鐵礦、鐵鋁榴石、電氣石、鉛石和褐石等。可以區別：（a）通常由鉀長石和石英組成的紅色石英-長石質岩石，通常命名為花崗岩狀岩石。這些岩石可以是片麻岩地層和蓋層岩石之間切變的產物；（b）綠泥片岩主要由代表強烈熱液反應的綠泥石和石英構成。本單位發現於沉積岩南部邊緣，接近重要的脆性剪切區域，可認為該區域為熱液通道。

古老的 Salobo 花崗岩 (GR)

古老 Salobo 花崗岩呈現網狀脈，已有約 2573 $\pm$ 2 Ma 的歷史。該網狀脈顏色呈純粉紅色至灰色，粗粒，且在一些區域出現糜棱化現象（圖 2.8）。主要礦物包括鉀長石（正長石-微斜長石）、奧長石、石英、輝石、角閃石、綠泥石和罕見磁鐵礦。目岩沒有任何接觸變質跡象。同時出現在花崗岩和目岩中的 S-C 糜棱岩很可能是在變形期形成。

初期 Salobo 花崗岩 (GR)

呈現小型西北朝向的基石，寄主外殼岩層序和片麻岩基礎中，是 Salobo 礦區使用鑽孔發現的最年輕的花崗岩入侵岩。在一些斑岩部分，非顯晶岩作為脈石，包含紅色鈉長石斑岩（富含微型氧化鐵）和通過黑雲母變形的綠泥石。該礦物組態包括細粒和中粒等粒狀，半自形紅色，由鈉長石/奧長石、正長石、石英、綠泥石、次級綠簾石、鉛石、氟石、磁鐵石、黃銅礦和黃鐵礦組成。沒有發現任何變形，且結構具有蛤同性。年代測定顯示時間為 1880 $\pm$ 80 Ma。



輝綠岩 (DB)

位於礦床的東南部，約束經 70°，而在沉積岩的西北方向上時，坐標為西經 20°。構成岩石的主要礦物包括輝石、斜長石、磁鐵礦、鈦鐵礦和石英。細粒綠輝石年代為 553 +/- 32 Ma，然而粒狀更細的綠輝石年代測定為 561 +/- 16 Ma。該單位展現了該區域的最近岩漿變化歷史。該岩脈位於橫向斜坡切變／斷層構型（東經 70 度）和前緣斷坡構型（西經 20 度）之間，可能在入侵期前以橫壓架構形成，並隨後通過橫向張力打開。

流紋岩 (RIO)

這些岩脈為灰紅色斑狀結構，含有非顯晶岩基質。主要成份包含鉀長石、斜長石、石英和閃石，基質中含有同樣的成份，通過石英細葉脈斷開。在鑽孔中，入侵現象很罕見或在終極期發生。

礦化情況

硫化物礦化包括磁鐵礦-黃銅礦-斑銅礦和磁鐵礦斑銅礦-輝銅礦組合。輝鉬礦、輝鈷礦、斜方砷鈷礦、金和銀變量也寄主於包含磁鐵礦、鐵橄欖石、鐵閃石、石榴石、黑雲母石英和斜長石的岩石上。礦化與富含鐵的岩石有關，並在晶狀體切變和熱液變異礦體中發生。黃銅礦半生富含鐵橄欖石和磁鐵礦的磁鐵礦片岩 (XMT)。

可以發現不同類型的礦化物質；浸染平行於岩石的面狀構造（細脈），半生磁鐵礦和／或石榴石局部集中區域，填補或外加礦粒斷層（網狀脈）；在分裂的閃石和成形礦粒中，包含在某些情況下與寄主岩石基床平行的超短塊狀硫化物及剪切區域的活化型礦化物質。

黃銅礦、斑銅礦和輝銅礦通常出現在矽酸鹽礦物間隙中。且通常可以在黑雲母和鐵閃石裂開面中發現填補空隙的硫化礦物。赤鐵礦很罕見，但在某些區域含量可達總體積的 4%。赤鐵礦呈現扁平紋理（鏡鐵礦），含有填充斑銅礦，並被磁鐵礦部分替代。

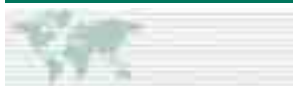
自然金粒在本地主要包含在輝鈷礦和斜方砷鈷礦中，或出現在斑銅礦的間隙中。此外，鈦鐵礦、瀝青油礦、褐石、氟石和凝灰石主要作為副伴生出現。以上的結構關係表明礦化物質首先以氧化物為特徵，隨後以硫化物為特徵。

輝鉬礦出現在磁鐵礦的間隙中，其裂開面中富含黃銅礦和斑銅礦。在糜棱岩樣本中，輝鉬礦通過標定的變量消光形成扭結細脈，即板條再結晶體的產物。

將磁鐵礦替代或填補矽酸鹽組塊的間隙。主要作為副-雙晶顆粒自形礦物，存在於矽酸鹽礦物或破裂區域的間隙中，或糜棱岩石中形成帶狀岩塊。

脈石礦物為鐵鋁榴石、鐵閃石和電氣石，反映了強烈的鐵礦交代變質。使用鐵閃石和磁鐵礦將少量鐵橄欖石和富鐵納閃石做變形處理。主要含有黑電氣石成份的電氣石優先以自形晶體的形態與糜棱岩葉理形成平行狀態，並半生黑雲母、石榴石和鐵閃石。

通常處於扭結狀態的黑雲母副雙晶體半生鉀變體並在空間上與銅金礦相聯繫。此外，在黑雲母中可能局部含有大量的瀝青油礦和鈷石。石英呈現波狀消光狀態，並半生礦石樣本中的黑雲母或構成母岩礦中的整合紋理。



7.10 勘探與開發鑽井

在 1978 年與 2003 年之間，已完成 5 個項目的鑽探工作。表 7-3 詳細說明了這些鑽探項目，而圖 7-6 則說明了項目的空間分佈。鑽孔方向在垂直角度到西南偏南 60-70 度之間變化。同時，還完成了地下隧道的鑽孔工作。其中一個項目的鑽孔方向為東北偏北 60-70 度。

表 7-3：Salobo 鑽孔項目概要

時間（年）		鑽孔編號			佔總額的百分比
從	至	從	至	長度	
1978	1983	F001	F065	29,275	19
1986	1987	F066	F125	9,050	6
1993	1993	F126	F189	14,585	10
1997	1997	F190	F277	31,081	21
2002	2003	F278	F410	66,242	44
		總計	410	150,233	100

在實地考察時，礦場沒有開展任何鑽孔工作，因此不可能對鑽孔和採樣過程進行審查。

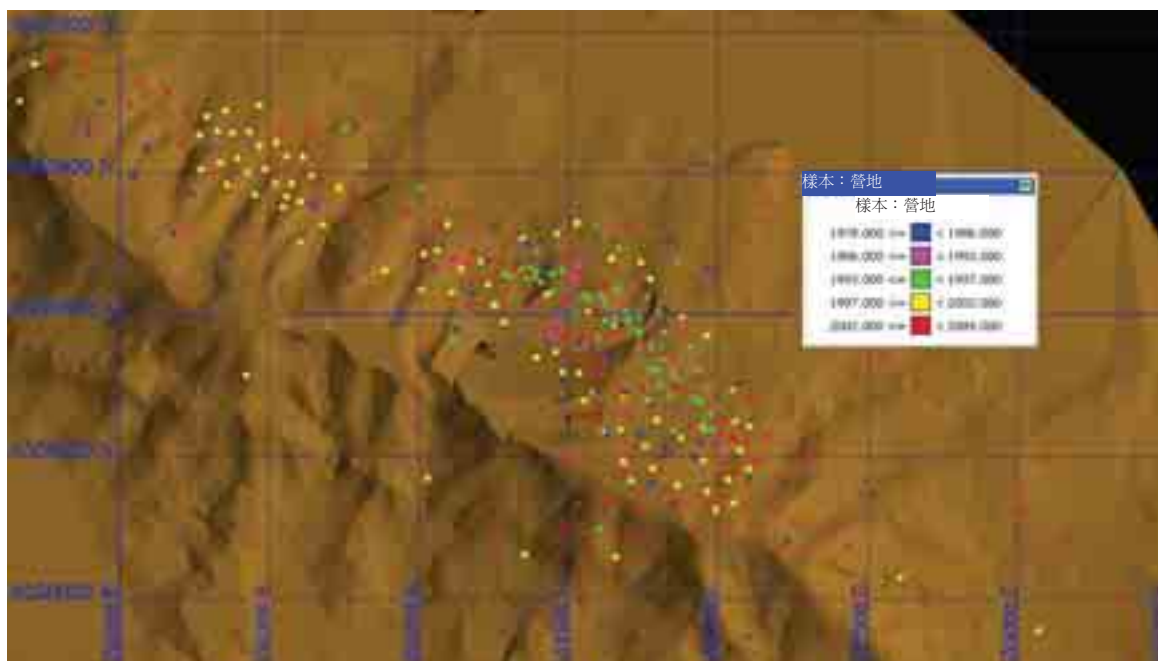




圖 7-6：項目孔位分佈圖

Golder 獲得鑽孔 D-278 至 D-410 的回收率數據。圖 7-7 為根據回收率數據繪製的概率圖。總體來說，回收率良好，平均為 97%。

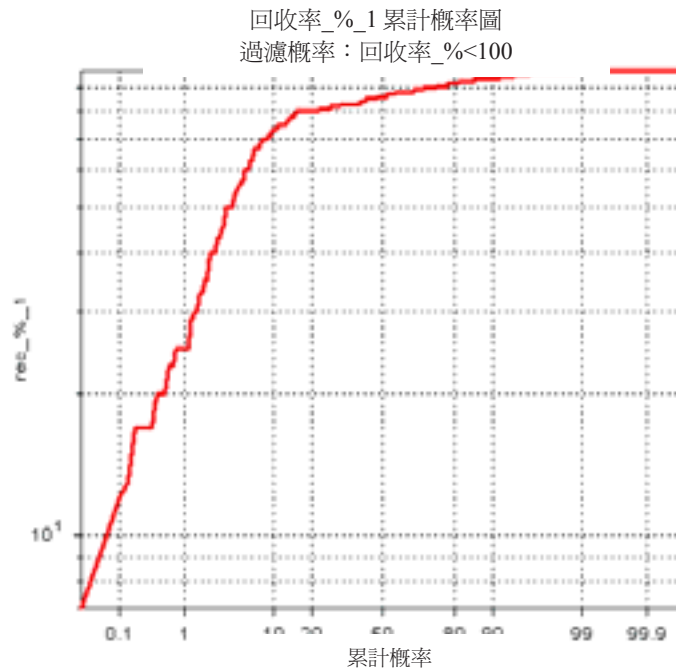


圖 7-7：回收率數據概率圖

井下測量

Salobo 井下測量使用 R-F DDI（反射 Fotobor 傾角和方向指示器），Fotobor DDI 和 Maxibor，防止磁性片岩影響測量。

井下測量方法視為合適的方法，在測量過程中沒有出現任何異常現象。

7.11 礦床採樣方法和數據管理

在 Salobo，僅一種樣本可被採集用於地質建模和資源估算：金剛石鑽孔（DDH）——直徑主要為 NQ 和 HQ。

Golder 審查了 2010 年模型中與採樣相關的問題。在 Salobo 使用的樣本長度一般間距為 1 米，但是可根據礦石類型、區域和/或風化條件進行調整。



記錄

記錄由Vale的地質專家執行，他們使用內部的鑽孔岩芯記錄表，記錄每 1 米、最小尺寸為 10 厘米的單元的岩性、蝕變和礦化的主要代碼。地質接觸面以較高的精確度進行記錄。記錄須在現場使用寬敞的、採光好的設施完成(圖)。



圖 7-8：鑽探岩芯記錄倉庫

鑽探岩芯採樣

可利用鑽機採集岩芯，並放在木質託盤上。使用鑽機取出岩芯後，將其送到倉庫，在倉庫記錄其岩土數據，測量岩芯的長度，估算回收率。在記錄前，先給所有岩芯拍照。岩芯的照片被存儲在數據庫內。將帶有金屬條的木塊連同樣本一併置於金屬盤上對應的測量間隔上。

在礦化帶，每隔 1 米採集一個 DDH 岩芯。可以根據礦石類型、區域及/或風化條件，調整樣本的長度。採樣時，先使用金剛石鋸將岩芯分為兩半，參見圖 7-9。Vale 的地質專家在切割礦石的位置做好標記。一半礦石被送到分析實驗室進行化學分析，剩餘一半被存儲在現場。



圖-9：用於切割礦芯的電鋸

Golder 認為用於金剛石鑽孔記錄和採樣的程序可接受。

樣本的儲存

所有用於儲存鑽孔岩芯的設施都設在項目現場，其中包括儲存岩芯的專用倉庫。拒收的岩芯被儲存在木質託盤內，並標記金屬標籤。圖 7-10 顯示岩芯的儲存條件。



圖 7-10：A) 岩芯庫房全視圖。B) 儲存岩芯的木質託盤

將礦漿放在紙袋內，再將紙袋集中放在儲存拒收的粗粒的塑料袋內。礦漿和粗粒均被安排在明確指定的箱子內。所有的拒收粗粒均被儲存在倉庫內。圖 7-11 顯示用於儲存鑽孔岩芯和拒收粗粒的設施的條件。倉庫已制定良好的組織架構。鑽孔岩芯和樣本的儲存條件須保證其質量和完整性不會隨著時間發生變化。



圖 7-11：A) 礦漿和拒收粗粒儲存區的全視圖。B) 裝有退回拒收礦漿的紙袋

樣本準備和分析

從 2003 年開始，未在 Salobo 進行鑽孔採樣，因此 Golder 未能檢查當前的程序。Golder 得到了 2002-2003 年用於樣本機械準備的程序，參見圖 7-12。根據已有的資料，可得出 2002-2003 年樣本準備實驗室使用的 DDH 樣本準備程序如下：

- 切割：使用金剛鋸將鑽孔岩芯切割為兩半，包裝好，貼好標籤，然後送去機械準備。樣本採用條形碼系統標記。



- 乾燥：在溫度為 105°C 的電爐中乾燥樣本。
- 初級破碎：將全部樣本粉碎至將近 95% 的樣本成為粒徑 < 4 mm。在 20 個樣本中選擇 1 個樣本，進行粒度測試，檢查粒度。
- 樣本均質化。
- 分離：樣本通過 JONES 分離槽。一半所收集的樣本的被用於化學分析，其他樣本作為拒收樣本進行儲存。
- 粉碎：將樣本至 95% 的樣本粒徑 < 0.105 mm。
- 樣本均質化。
- 分離：使用旋轉分離槽分離收集 3 個 100g 的樣本，一個用於實驗室測試。剩餘材料作為拒收材料進行儲存。
- 將樣本包裝在紙袋中，標記上條形碼，並發送到實驗室進行分析。

已妥善建立樣本準備設施的保管鏈。從鑽機取得樣本開始，到將處理的樣本送到實驗室分析的所有步驟，都使用條形碼閱讀器登記。

Golder 認為該等樣本處理程序可作為資源估算的合適標準方法。



SALOBO 礦場審計

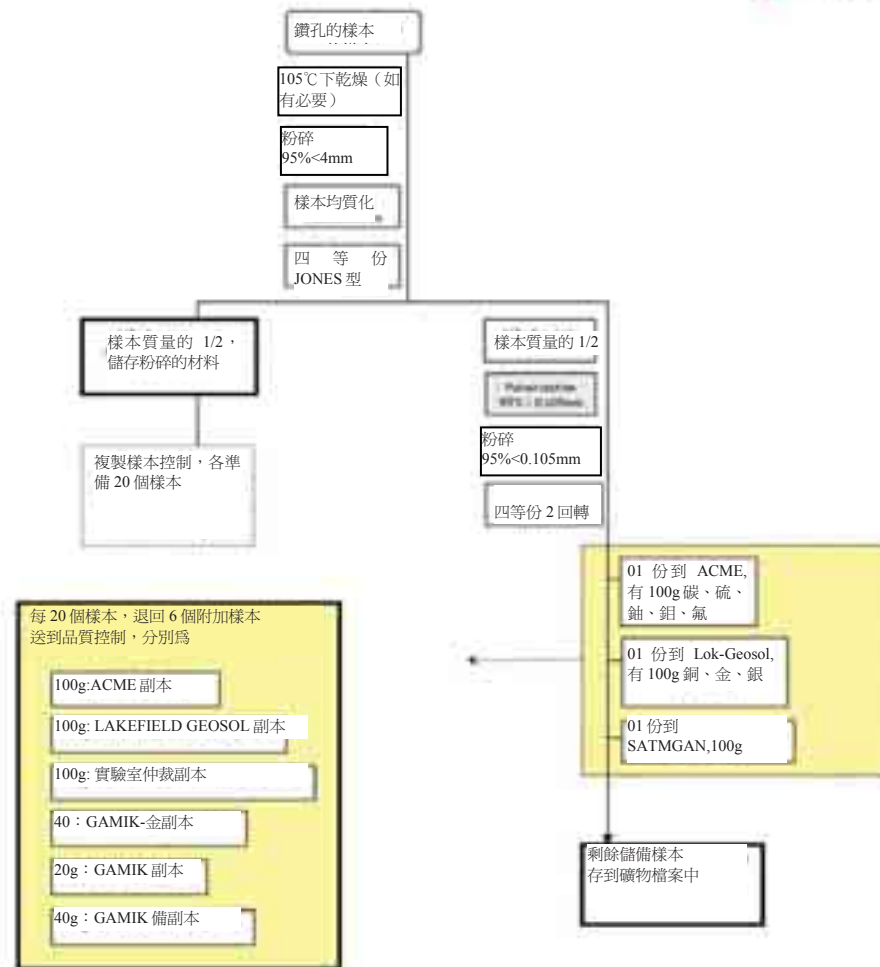
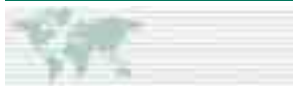


圖 7-12 : Salobo 於 2002-2003 年採樣使用的機械準備圖解示意圖



品質保證和品質控制(QAQC)

品質保證 (QA) 是指確保高品質採樣和分析結果的系統和整套程序。品質控制(QC)是指用於證明樣本準備結果和化學分析結果是否合適的數據。

程序

Salobo 使用的 QAQC 計劃較複雜，這是因為在不同的時間實施了不同的 QA 計劃。為本次審核，Golder 獨立的審核了 Vale 提供進行銅和金分析的 QAQC 數據。

Lakefield Research 實驗室被用於對銅、金和銀進行常規分析，而 ACME 實驗室則用於分析鉬、鈾、氟、硫和碳。Gamik 是檢查從初級實驗室獲得結果的二級實驗室。首先，Salobo 分配插入標準、空白格副本樣本到實驗室的責任。因為 2002 年之前的鑽孔中沒有妥善的 QAQC 數據，通過重新分析使數據有效。重新分析時，盡可能對礦漿和拒收粗粒進行了分析。但是，沒有分開標記重複和副本（評估精確度和樣本處理分別需要的）。Vale 根據得到的結果，使用調整因數調整了原樣本等級。Golder 認為此調整未嚴重影響資源估算。

2002-2003 年間，Salobo 使用了兩個內部樣本標準，但是在勘探項目結束後才使用的。因此，重新分析了 2002-2003 年間 1500 樣本中的大部分樣本（尤其是 lote）。標準 B5B 和 B3E3C3 (Salobo CMR) 中都隨機插入了 76 個樣本。2002-2003 年間樣本和 2002 年前的重新分析樣本的 QAQC 計劃見報告「Validação de Resultados Analíticos de Projeto Relatório de Avaliação Estatística de Duplicatas e Padrões para Cu e Au」。

在鑽孔項目結束時使用的 QAQC 程序不是一種好方法，必須在常規分析的過程中使用 QAQC。充分的 QA 計劃必須考慮插入礦漿和粗粒副本、現場副本、空白和標準。實驗室應隨機選擇控制樣本。

標準

標準樣本是由「已知」等級的材料組成，用於驗證其他分析（如果提交給實驗室分析的樣本進行了這些分析）結果的準確性。標準樣本也稱為認證參考材料 (CRM)。

Gamik 使用的監控銅和金分析的認證參考材料列於表 7-4。Vale 使用對應國際標準的標準 GBW07233、GBW07234、GBW07237、NBS330 和 NBS331，而 2002-2003 年間的樣本使用對應內部標準的標準 B5B 和 B3E3C3。

表 7-4：Gamik 用於銅和金分析的標準

標準	銅的預期值 (%)		金的預期值 (ppm)	
	平均值	標準誤差	平均值	標準誤差
GBW07237	0.71	0.039	-	-
GBW07233	1.15	0.061	-	-
GBW07234	0.19	0.02	-	-
NBS330	0.837	0.042	-	-
NBS331	0.091	0.007	-	-
B5B	0.2929	0.006	0.1125	0.001
B3E3C3	2.5112	0.017	1.608	0.02



標準 B5B 和 B3E3C3 用作從 202-2003 年間的鑽孔計劃的 1500 個樣本的控制樣本。

對銅標準樣本的分析表明準確度和精確度都很好。從表 7-5 的概要可以看出，銅的平均 HARD 值低於 5%，表明精確度很高。理想的情況是 90%的樣本應有一半絕對相對偏差或 HARD (Shaw, 1997)值低於 10%。累計 HARD 圖（見下）表明 90%的樣本 HARD 值低於 5%，只有標準 B3E3C3 的 90%的樣本 HARD 值低於 10%，說明精確度很好。從平均 HRD 值可以看出，沒有明顯的偏差。

金的標準分析表明可接受的準確度為 HARD 值低於 10%。從平均 HRD 值可以看出，沒有明顯的偏差。得到這樣的結果，可能是因為金的礦化類型（金塊或金粉）。

表 7-5：Salobo 項目的標準分析摘要

元素	標準	N° 樣本	平均 HARD (%)	平均 HRD (%)	偏差
銅	GBW07237	247	1.01	-0.9	-1.78 (%)
	GBW07233	391	0.69	0.41	0.83 (%)
	GBW07234	13	1.01	0.81	1.66 (%)
	NBS330	14	0.63	0.46	0.94 (%)
	NBS331	9	1.4	-0.21	-0.37 (%)
	B3E3C3	37	3.39	0.16	0.85 (%)
	B5B	39	2.61	0.97	2.16 (%)
金	B3E3C3	34	2.88	-1.12	-1.59 (ppm)
	B5B	38	7.48	-1.55	-1.22 (ppm)

標準樣本有充分的準確度和精確度。發現了一些小偏差，但是它們不會對支持礦產儲量的數據的質量和代表性產生重大的影響。

空白

空白樣本指的是預計品位為零的材料，用於檢測樣本處理設備、實驗室硬件或藥劑中的污染物。

Golder 得到了 2002 至 2003 年間活動的銅和金的空白樣本數據（鑽孔 FD278 - FD410）。分析表明異常值有限。

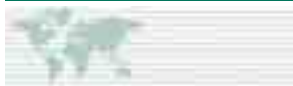
根據 Vale 地質專家的意見，如空白出現異常值，應對樣本和標準進行再次分析。

副本

副本採用了多種方法，其包括：

- 礦漿副本（Lakefield 內部 QA 計劃的一部分）
- 實驗室間副本（Salobo QA 計劃的一部分）。在項目尾聲，大部分礦漿副本將作為一特殊批量，送至一間二級實驗室(GAMIK)。
- 一組 2002-2003 年間鑽探計劃的 1500 份樣本得以重新分析，以確認初級實驗室的質量。包括標準。

結果摘要載於表 7-6。結果表明，CuT 的分析結果的精確度合適，平均 HARD 值在 3% - 7%之間。該值與在 83.4%觀察到的精確度（大於 20%，為中等精確度）一致。金精確度在差精確度的邊緣，平均 HARD 值大於



10%。該值與在 83.4%觀察到的精確度（大於 30%）一致，儘管這可能是因為礦化類型（金塊或金粉）引起的，因此精確度的水平是可以接受的。

偏差乃採用平均 HRD 值度量。結果摘要載於表 7-6，從表中可以看出，CuT 沒有明顯的偏差，而金略有負偏差。

表 7-6：副本分析的精確度摘要

元素	實驗室	類型	N°數據	平均 HARD (%)	平均 HRD (%)	平均偏差	精確度(83.4%)
銅	Lakefield 對比 Lakefield	盲法	515	7.37	0.06	0.01	28.7
	Lakefield 對比 Gamik	盲法	724	6.49	0.49	0.02	24.4
	Lakefield 對比 Lakefield	非盲法	429	3.16	-1	-0.01	21.2
	Lakefield 對比 Gamik	非盲法	667	6.32	1.28	0.00	23.7
	Lakefield 對比 Gamik	特殊批次	1502	6.47	-0.46	0.01	28.7
金	Lakefield 對比 Lakefield	盲法	515	16.98	5.97	-0.01	46.9
	Lakefield 對比 Gamik	盲法	537	15.92	-9.72	-0.05	41.3
	Lakefield 對比 Lakefield	非盲法	367	8.45	-0.68	0.00	32.2
	Lakefield 對比 Gamik	非盲法	355	21.46	-17.92	-0.09	46.2
	Lakefield 對比 Gamik	特殊批次	1417	13.88	-2.31	-0.04	42.8

銅的副本樣本的精確度結果可以接受，而金的結果則為預期之中，是由於礦化類型（金塊或金粉）所致。

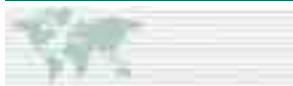
重新分析

從 2002 年前鑽探取得的 75,577 份原始樣本中份樣本抽取了共計 51,768 份樣本進行重新分析，以評估原始結果。

Golder 比較了原始和重新分析的銅數據，確定兩組數據相關性的特徵，結果表明相關性係數為 0.978，說明相關性很好。還使用了分位數-分位數圖進行比較。線性和對數圖表明兩組數據幾乎相同。銅品位出現輕微的偏差 — 低於 0.07%，佔到了數據的 7%的。該對比確認了重新分析數據組的影響不甚重大。

最後，比較了重新分析和舊的銅（副本）數據。舊的銅平均 HARD 值約為 10%，表明精確度好，而重新分析的數據平均 HRD 值約為 5%，表明數據組之間有輕微的偏差。

Golder 認為沒有必要對銅數據使用校正係數，因為觀測到偏差的水平低 (2%)。另外，校正還涉及篡改數據應予以避免。



數據庫

Salobo 使用訪問數據庫管理平台，集中所有的地質信息。數據庫有一個合適的安全程序，包括備份和限制訪問，以便在出現計算機問題時，保證數據質量。

以下文件乃向 Golder 提供，其中包含構建 2010 年地質模型所採用的數據：

- 銅組合數據文件；
- SALOBO_HEADER.txt – BHID 數據；
- SALOBO_SURVEYS.txt – 調查數據；
- SALOBO_ASSAY.txt – 分析數據；
- SALOBO_LITHOLOGY.txt – 地質數據；
- SALOBO_RECUPERA.txt – 回收率；
- Modelo1507_2010.txt – 區塊模型文件；
- 解釋岩性的垂直剖面；
- HORIZONTAL_HG_SALOBO.dxf HORIZONTAL_LG_SALOBO.dxf
HORIZONTAL_WASTE_SALOBO.dxf 線框；
- SALOBO_DENSITY.txt – 密度樣本。

對數據庫、地質模型和品位估算進行的所有檢查和分析，都是基於這些資料。表 7-7 概述了從鑽孔數據庫獲得的資料摘要。

表 7-7：鑽孔數據庫的摘要

表	數據庫	
	鑽孔	長度(m)
井口	434	156,218.35
調查	434	156,121.77
岩性	427	149,030.56
分析	411	145,677.49

項目的所有歷史數據都已在該區妥為儲存，參見 7-13。



圖 7-13：歷史信息的數據室

數據庫有效性

爲了確保所有數據庫內的鑽孔數據是一致的，Golder 審核並檢查了數據庫的完整性。使用 Golder 的 Datacheck©軟件導入並處理井口、調查、分析和地質表。在 Salobo 數據庫中，有：

- 7 個無岩性表數據的鑽孔；
- 12 個岩性表中附有間隙或跨度的鑽孔；
- 在建議的 50 米的間隔下的 22 次井下測量；

據 Vale 地質專家稱，七個鑽孔沒有岩性資料，其中 FD094 只進行了分析，但未記錄結果，其他鑽孔僅分析了氧化帶。

地形

從報告的信息中得出井口坐標都是使用總站調查儀錶獲得的，其驗證程序使用了目測地形的的方法。

Salobo 使用的地形勘察方法被認爲是合適的。

密度

Salobo 項目的密度樣本大約有 80,000 個。它們都是在圖 7-14 所示的礦床周圍採集的。

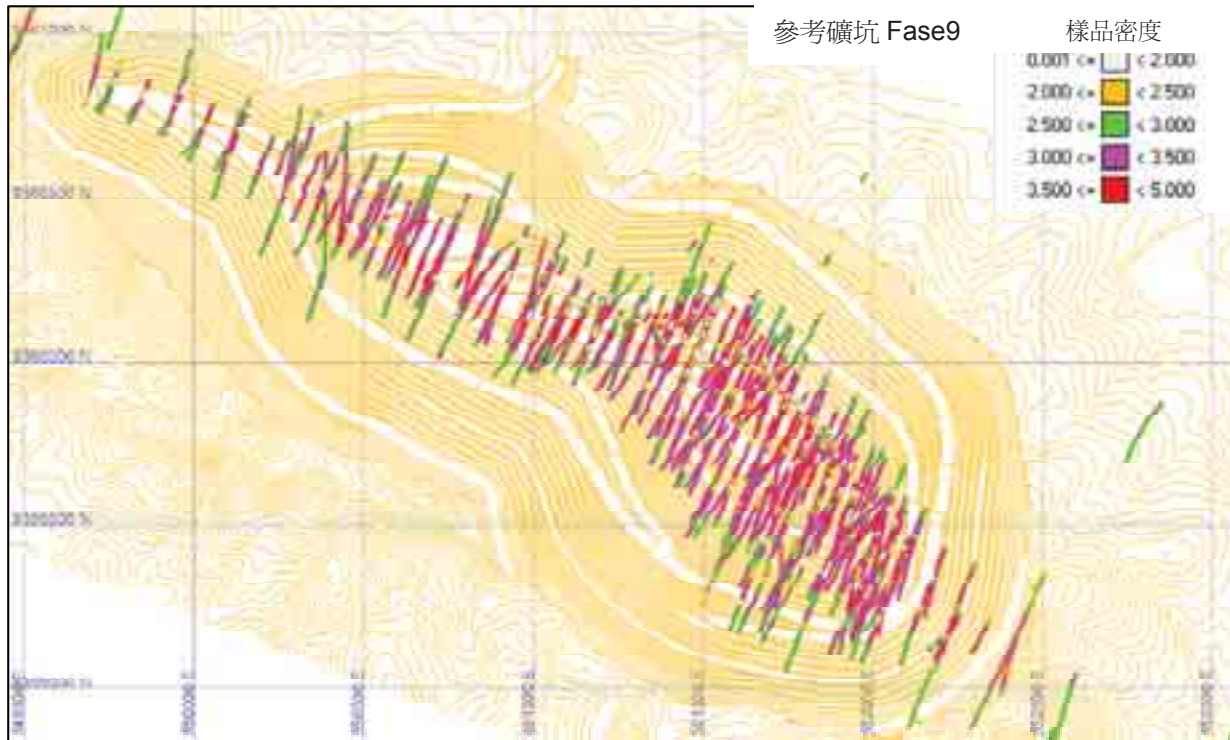


圖 7-14: 礦床的密度樣本分佈

使用蠟塗層浸漬技術，確定腐岩帶礦芯的比重。

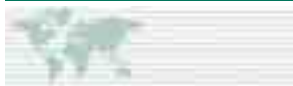
測試密度的程序存於文件夾 *PRO_0010_ GALOY_Ensaio de densidade-rocha sã_REV06.doc* 和 *PRO_0011_ GALOY_Ensaio de densidade - saprolito não estruturado_REV05.doc* 中。

確定岩床密度使用的初始方法為使用分離樣本測量乾重，並在浸入水中後測量濕重。

測量前，未乾燥樣本，但是因為沒有多孔性和滲透性，乾燥樣本也不會顯著改變樣本的乾重。Vale 測試了 Alemao 業務營運的條件，發現在 105°C 下乾燥 14 小時後樣本的最高重量差別為 0.15%，差別並不顯著。

每種岩性的密度基礎統計數據見表 7-8。結果表明腐岩帶(2.342 g/cm³)和新鮮岩石（大於 2.733 g/cm³）的平均值之間有差別。

表 7-8：主要岩性的密度基礎統計數據



岩性	代碼	測試數量	最小值	最大值	平均值	標準偏差	偏差	偏差係數
COB	5	31	1.380	3.720	2.118	0.598	0.357	0.282
BDX	10	37703	1.320	8.761	3.288	0.292	0.085	0.089
DB	20	1319	2.090	4.340	2.980	0.131	0.017	0.044
DGRX	30	5736	2.060	5.480	3.458	0.284	0.080	0.082
GM	40	2167	1.606	3.720	2.752	0.121	0.015	0.044
RIO	45	4	2.680	2.940	2.803	0.114	0.013	0.041
GR	50	134	2.290	3.091	2.733	0.124	0.015	0.045
HD	60	3546	1.520	5.620	2.976	0.288	0.083	0.097
CX	65	43	2.540	3.580	2.989	0.187	0.035	0.063
ML	70	5820	1.520	5.520	2.895	0.226	0.051	0.078
MTB	80	278	2.390	3.890	3.045	0.140	0.020	0.046
QML	90	3735	1.470	5.530	2.825	0.290	0.084	0.103
XMT	110	11572	1.300	5.810	3.742	0.450	0.202	0.120
SP	SP	4876	1.080	5.350	2.342	0.532	0.283	0.227
ZT	ZT	2302	1.264	4.841	3.002	0.389	0.151	0.130
	共計	79266	1.080	8.761	3.237	0.461	0.213	0.143

Golder 認為使用的確定密度的方法是合適的，而且獲得的結果和數據的數量符合採礦行業確定礦床密度的相關標準要求。

地質建模

考察了兩種主要地質模型的解釋：岩性和礦化或礦體品位界限。按以下步驟構建兩種模型：使用垂直西北-西南截面間距為 50 米的鑽孔進行構建。有一組固體是使用該等多邊形構建的。使用該等固體構建一個尺寸為 15x15x15 的分塊模型。使用 Gemcom 軟件進行地質模型構建。

岩性建模已考慮表 詳列的單位註釋。

表 7-9：岩性建模使用的單位代碼

岩性	代碼	說明
BDX	10	黑雲母片岩
DB	20	輝綠岩
DGRX	30	石榴石-鐵閃岩-片岩



岩性	代碼	說明
GM	40	花崗岩
GR	50	楊氏/舊薩羅伯花崗岩
HD	60	輕質混凝土
ML	70	長石-綠泥石-石英糜棱岩
MTB	80	基礎元變質火山岩
QML	90	石英糜棱岩
XMT	110	磁鐵礦-片岩

礦化模型是在岩性模型和現有地質信息的基礎上構建的。解釋了兩個區域：高品位 $\text{CuT} > 0.6\%$ 和低品位 CuT 在 $0.2\% - 0.6\%$ CuT 包絡面之間。沒有估算此包絡面範圍外的數值，而是將其 CuT 品位設置為 0。

目測

Golder 使用 Vulcan 目測模型，檢查模型的每個截面，評估模型與鑽孔數據的符合性以及地質一致性。另外，還比較了地質模型，檢查存在的不一致性。此外，還比較了分塊模型的地質代碼和線框固體。

岩性模型表明鑽孔資料和分塊模型之間合理良好的相關性。圖 7-15 顯示岩性模型的一個典型橫截面。

礦化模型表明鑽孔資料和分塊模型之間合理良好的相關性。圖 7-16 顯示礦化模型的一個典型橫截面。

地表檢查代表新生和風化岩石之間的界限有很大的不一致性。解釋時忽略了若干鑽孔，還有若干點的位置已改變的鑽孔亦未考慮。參見圖 7-17。

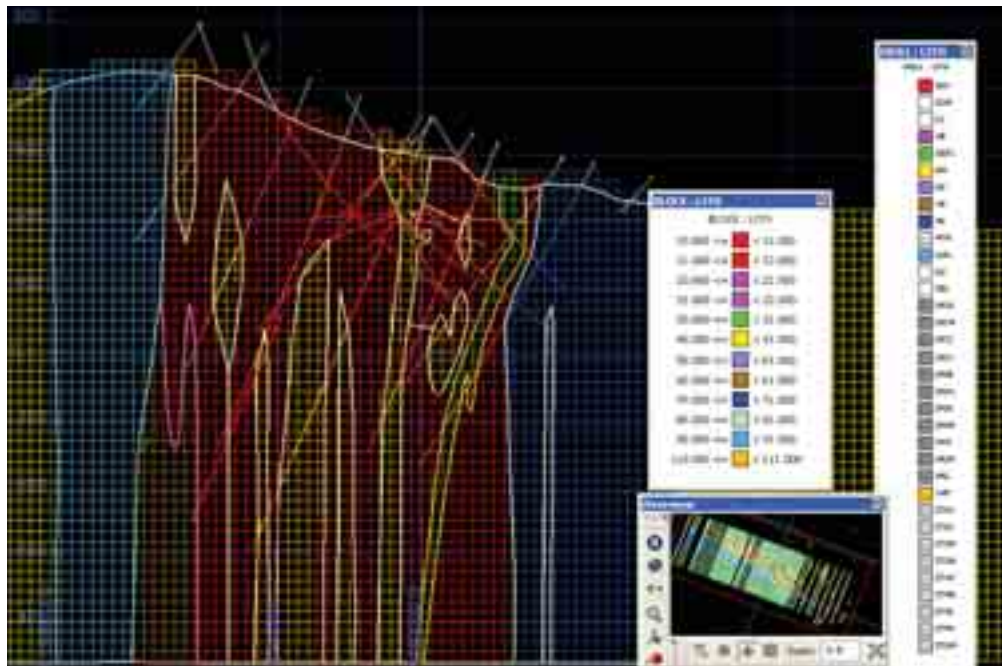


圖 7-15：岩性模型的垂直截面

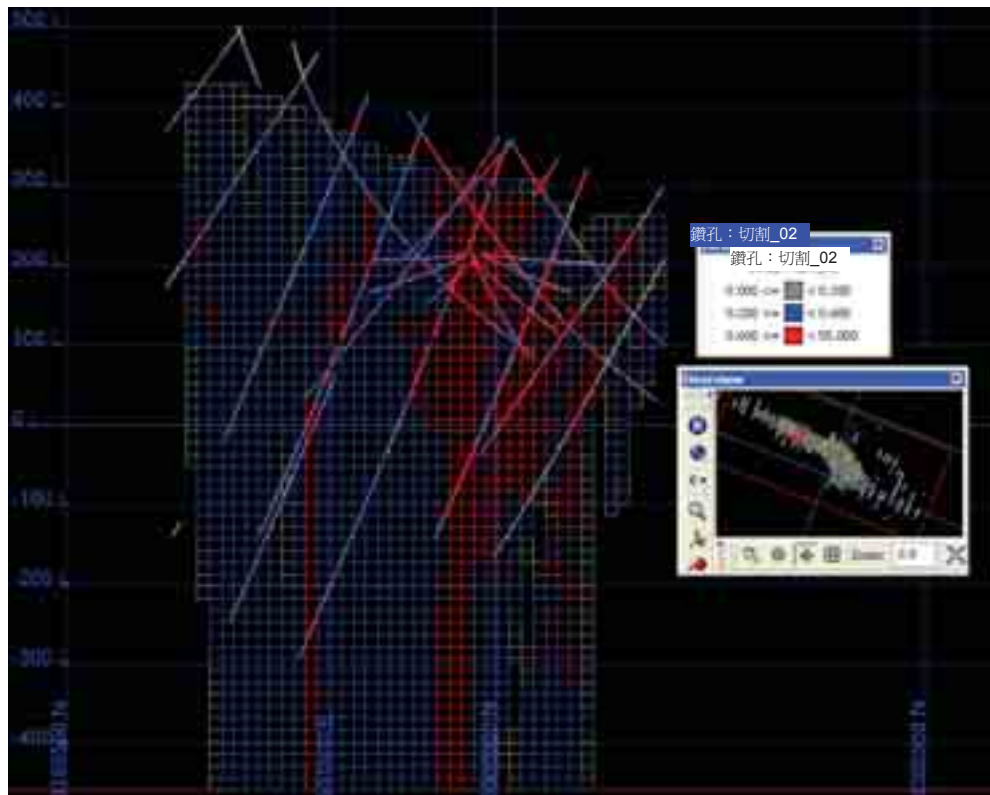


圖 7-16：礦化情況模型的垂直截面

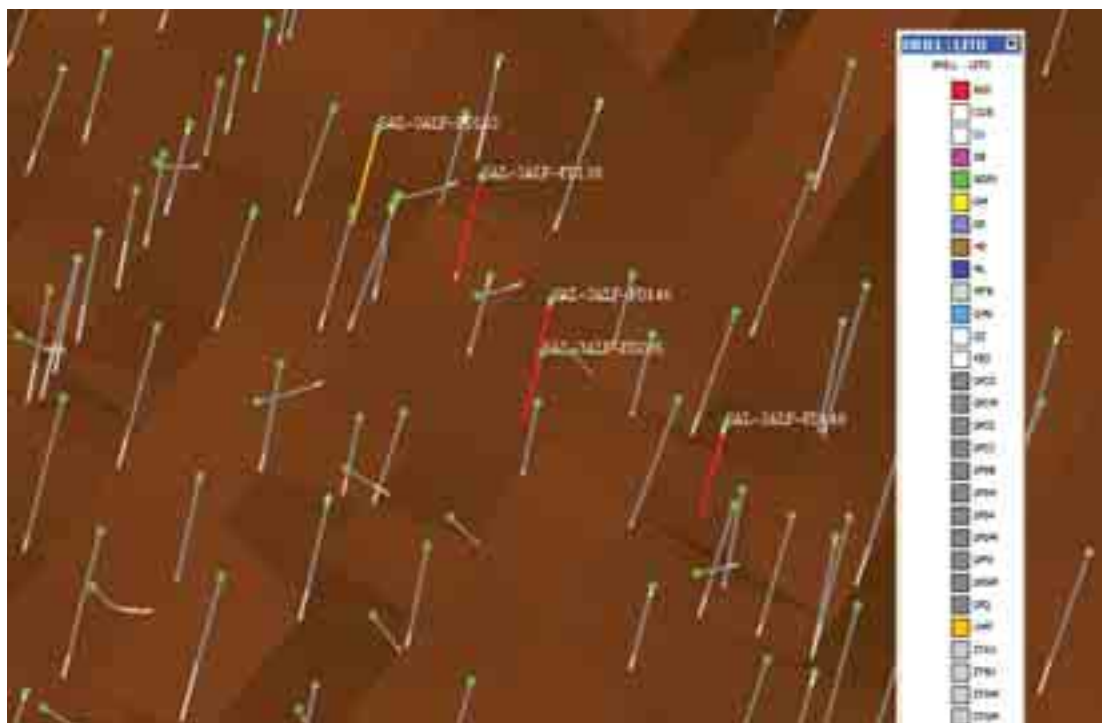
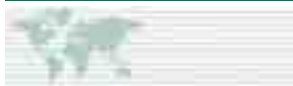


圖 7-17：未符合地表的鑽孔，代表有限新生-非新生岩石 的表面不能辨別鑽孔



新生岩石和非新生岩石須分開審閱的表面不能辨別鑽孔間距，沒有使用鑽孔間距的規定。

爲了分析礦化的地質（岩性）代表性（解釋爲品位界限），比較了組成數據庫的岩性代碼和匹配品位界限。結果概列於表 7-10。

表 7-10：礦殼中的岩性組合分佈

		CuT < 0.2%	CuT 0.2% - 0.6%	CuT > 0.6%		
組合		0	103	203	共計	共計 %
BDX	數值 N°	3272	18480	7922	29674	40%
	數值 %	11%	62%	27%		
COB	數值 N°	705	0	1	706	1%
	數值 %	100%	0%	0%		
CX	數值 N°		13	4	17	0%
	數值 %	0%	76%	24%		
DB	數值 N°	724	285	173	1182	2%
	數值 %	61%	24%	15%		
DGRX	數值 N°	1614	2287	1114	5015	7%
	數值 %	32%	46%	22%		
GM	數值 N°	3364	511	64	3939	5%
	數值 %	85%	13%	2%		
GR	數值 N°	175	0	3	178	0%
	數值 %	98%	0%	2%		
HD	數值 N°	1982	2015	542	4539	6%
	數值 %	44%	44%	12%		
ML	數值 N°	2075	2245	190	4510	6%
	數值 %	46%	50%	4%		
MTB	數值 N°	311	118	77	506	1%
	數值 %	61%	23%	15%		
QML	數值 N°	1788	1643	260	3691	5%
	數值 %	48%	45%	7%		
QZ	數值 N°	2	27	0	29	0%



		CuT < 0.2%	CuT 0.2% - 0.6%	CuT > 0.6%		
	数值 %	7%	93%	0%		
RIO	数值 N°		4	0	4	0%
	数值 %	0%	100%	0%		
XMT	数值 N°	195	3435	6198	9828	13%
	数值 %	2%	35%	63%		
腐岩	数值 N°	7242	181	160	7583	10%
	数值 %	96%	2%	2%		
過渡	数值 N°	1011	592	294	1897	3%
	数值 %	53%	31%	15%		
	總数值 N°	24460	31836	17002	73307	100%
	總数值 %	33%	43%	23%		

7-18 呈列帶有岩性和切割品位區塊模型的垂直截面，詳細說明了 CuT 礦化和 XMT 岩性單位的相關性。另外，若干礦化位於 XMT 侵入的邊界上，尤其是在 BDX 內。

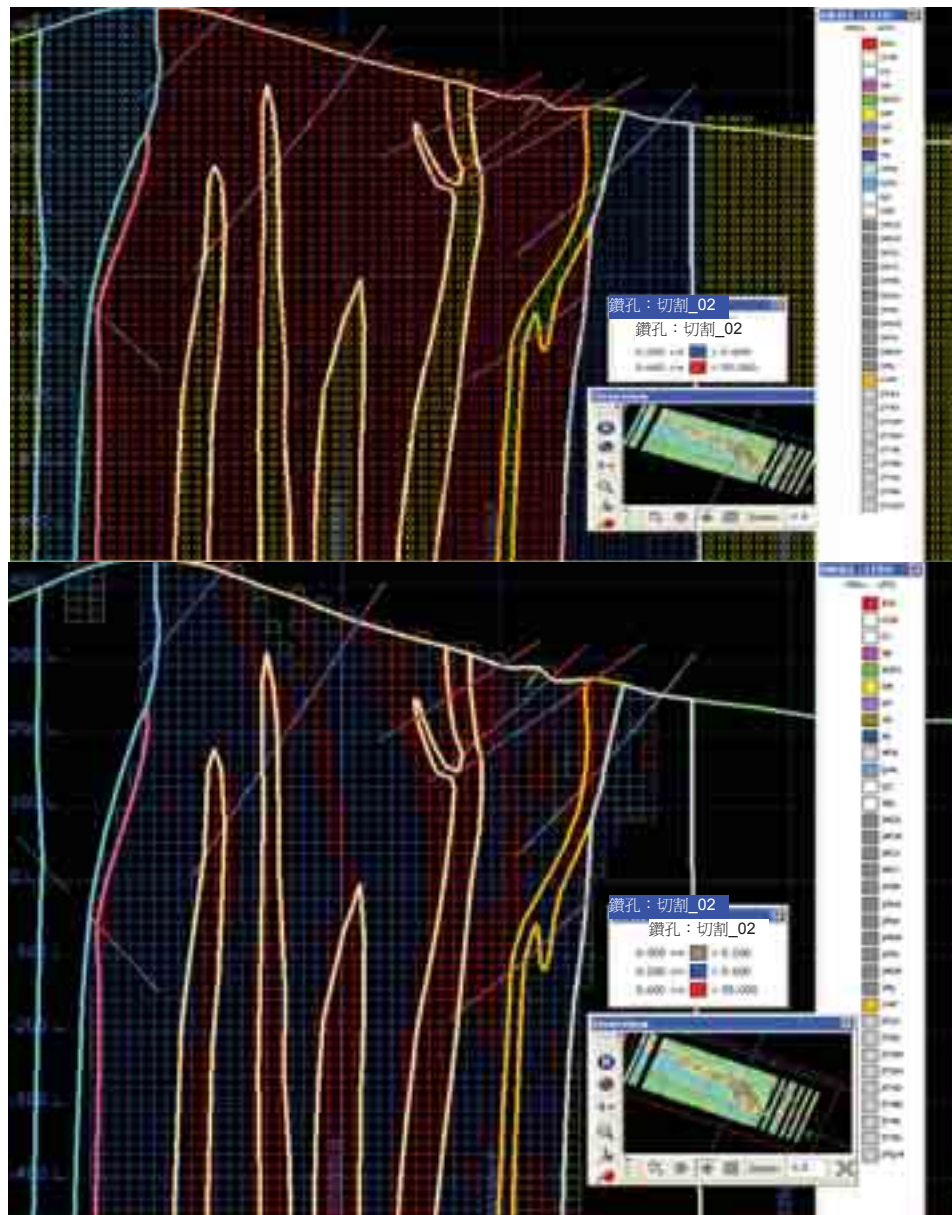


圖 7-18 : Salobo 的垂直截面，顯示 XMT 和 CuT 品位之間的相關性。A) 岩性區塊模型
粉色線代表 XMT。B) CuT 品位區塊模型，藍色線 CuT 在 0.2% - 0.6% 之間，紅色線 CuT > 0.6%



7.12 礦產資源估算

文件評述

Salobo 的礦產資源估算流程載於 Vale 提供的「Geology and Resource Modelling, Block Model 2007/2008, Salobo Mine」報告（文件 Salobo v.2.pdf 格式，日期為 2010 年 6 月 15 日）。此外，流程中不同階段的手稿、參數文件和輸出文件均作為礦產資源估算流程的文件提供。

所提供的文件足以理解估算的礦產資源流程。但是，有必要提升報告詳情的水平，以完全理解估算流程中採取的各種標準及決策。

估算數據庫

Salobo 的品位估算由 Vale 使用 Gemcom® 軟件對總銅(Cu)、金(Au)以及密度(Density)進行估算而進行。

使用 Run Length 工具於構建 Salobo 地質與資源模型（由 Vale 在 Microsoft Access® 數據庫文件 GD_SALOBO.mdb 中提供）的鑽孔組合成 2 米。複合材料被標記為分塊體模型，礦產區和礦石代碼。

2 米的複合材料數據庫是用於構建 Salobo 資源模型（由 Vale 在文件 EXPORT_COMP2.txt 中提供），其被引進到 Vulcan® 文件 slbocompositos.com.isis。該數據庫運用在整個資源估算流程，其包括區域定義，變差法和品位估算。

被用於資源模型估算的複合材料數據庫由 407 個鑽孔組成，其總長度達 145,040m，這是一個鑽孔數據庫的子集。在總長度中，139,967 米 (97%) 達到有效總銅品位，139,967 米 (97%) 達到有效金品位以及 141,977 米 (98%) 為有效地密度測量。

樣本來源

在 Salobo 只有金剛石鑽孔被考慮用來建造資源模型，這被認為是足夠的。不推薦為了品位評定將通過不同鑽探方法得到的樣本結合起來。除非已得到相應檢查明確的驗證。因為這種做法可能使估算產生偏離率。

合成

考慮到在地質接觸的情況下會出現斷層，每隔一米對鑽孔數據庫進行檢測，使用 Run Length 工具在 Gemcom® 內合成至 2 米。該合成過程考慮到在無檢測間隔或者在礦石／廢棄物中接觸。

由於磁片岩(XMT)的高磁鐵礦含量和高銅品位，合成包括依據密度分析的比重。

品位合成方法被認為是可接受。

長度分析

在估算過程中複合物質沒有長度限制。Golder 進行了詳盡的長度相對品位擾動分析，以確保透過包括與複合物長度大不相同的樣本長度，達到沒有可測量到的偏差。

合成過程產生長度值，該值從在 0.01 米到 2 米之間。限定使用長度低於複合物大小 50% 的複合材料是可接受的行業標準。因此，該分析報告保持 1 米的長度閾值來進行複合數據庫的解析。

如圖表 7-11 所示，總銅的平均值低於複合物的平均品位品位，長度在 1 米到 2 米。進的品位稍高於複合物但少於 1 米。但是，標準差非常相似。

表 7-11: 根據長度設置劃分的複合物基本數據



變量	規格	數字	最小	最大	平均值	標準差	方差	變異參數
銅 (%)	長度>=1	70,296	0.005	24.966	0.572	0.784	0.615	1.370
	長度<1	206	0.005	3.816	0.549	0.650	0.423	1.184
金(ppm)	長度>=1	70,296	0.005	67.270	0.322	0.977	0.954	3.037
	長度<1	206	0.005	21.990	0.346	1.570	2.463	4.542
密度 (g/cm ³)	長度>=1	71,301	1.165	8.761	3.128	0.515	0.265	0.164
	長度<1	217	1.520	4.533	3.105	0.415	0.172	0.134

按照統計數據分析的結果，依據三個變量對不同長度的品位分佈進行對比。產生了累積概率圖的覆蓋。

三個變量分佈對比的結果沒有顯示不同礦群間的相關差異。結論是在礦產資源估算時長度低於複合物長度 50% 的廢棄複合物不能產生重大影響。但是，建議使用該項限制以符合行業標準。

探測數據分析

探測數據分析的目的在於找到不同樣本礦群的分佈相似性以及確定估算區域的地質屬性的可能分組。

使用不同的統計數據和地質工具對區域定義的統計數據適合性進行審查，包括均值和標準差的散點圖和累積概率圖。所有統計數據分析均在估算過程中採用相應限制後使用複合物數據庫進行。

估算區域

總銅和密度的估算區域是基於總銅的單位定義。該等區域是部分、礦代碼和風化變量結合的結果。

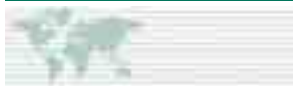
在西北到東南部分間的細分定義為形變和熱液蝕變的差異。輝綠岩岩脈撞擊北緯 70°E 定義了不同區間的界限。另一相關方面是定義每個區域與岩性單位的傾角相關。在東南部，傾角與西南部垂直。在西北部，傾角與東北部垂直。表 7-12 詳細列出了用於西北和東南部的代碼。

採用礦化單位代碼，對應於高品位、低品位和廢物。

形成的風化表面被編碼為腐泥土區(SAP)，過渡區(ZTR)和新石(RFR)。氧化物細分為腐岩和過渡區，同時也進行建模。但是他們不是礦產資源／礦產儲量估計的一部分，所以不被審核。最終的硫化估算區域如表 7-12 所示。

表 7-12：總銅和密度的硫化估算區域定義

代碼	部分	礦石	風化
1103	東南 (1000)	低品位 (100)	RFR (3)
1203	東南 (1000)	高品位 (200)	RFR (3)
2103	西北 (2000)	低品位(100)	RFR (3)
2203	西北 (2000)	高品位 (200)	RFR (3)



礦產資源的估算方法是基於 IK（指標克里格計算），故金具備不同代碼。該方法不同於用於銅和密度測試的方法（普通克里格計算），所以金礦化區單獨進行構建。指標閾值定於：低品位在 0.1 到 0.6 之間，高品位高於 0.6。沒有文件提供於支持該等閾值。表 7-13 顯示了 Salobo 使用的金代碼。

表 7-13：金的估算區域定義

代碼	部分	指標閾值	風化
1003	東南 (1000)	0.6 g/t（低品位）	RFR (3)
1003	東南 (1000)	>= 0.6 g/t（高品位）	RFR (3)
2003	西北 (2000)	0.6 g/t（低品位）	RFR (3)
2003	西北 (2000)	>= 0.6 g/t（高品位）	RFR (3)

總銅

表 7-14 總結了總銅在估算區域的基本數據。複合物依據長度進行測重。圖 7-19 顯示出平均品位和估算區域的標準偏差點。大體上估算區域定義與統計數據特徵相一致。

統計數據分析也建議在區域 1103 和 2130 進行分組。總銅的分佈分析包含在圖 7-20 中，支持統計數據分析建議在兩個區域對應相同礦群。礦化情況連續性的方向在不同區域是不相同的。考慮到地質和結構因素，該等區域被充分定義為獨立的估算單位。但是，鑒於相似的統計數據特徵和區域間的分佈，為達到估算目的而有可能在他們接觸的附近區域共享複合物。

總銅品位估算區域的定義對於 Salobo 是足夠的。

表 7-14：總銅複合物的統計數據摘要（按長度計重）

區域	數字	最小	最大	平均值 (CuT %)	標準差	方差	變異係數
1103	17,871	0.005	12.800	0.474	0.517	0.267	1.090
2103	6,231	0.005	7.634	0.460	0.489	0.239	1.064
1203	10,651	0.005	24.966	1.369	1.130	1.276	0.825
2203	4,439	0.005	11.750	1.301	0.912	0.832	0.701

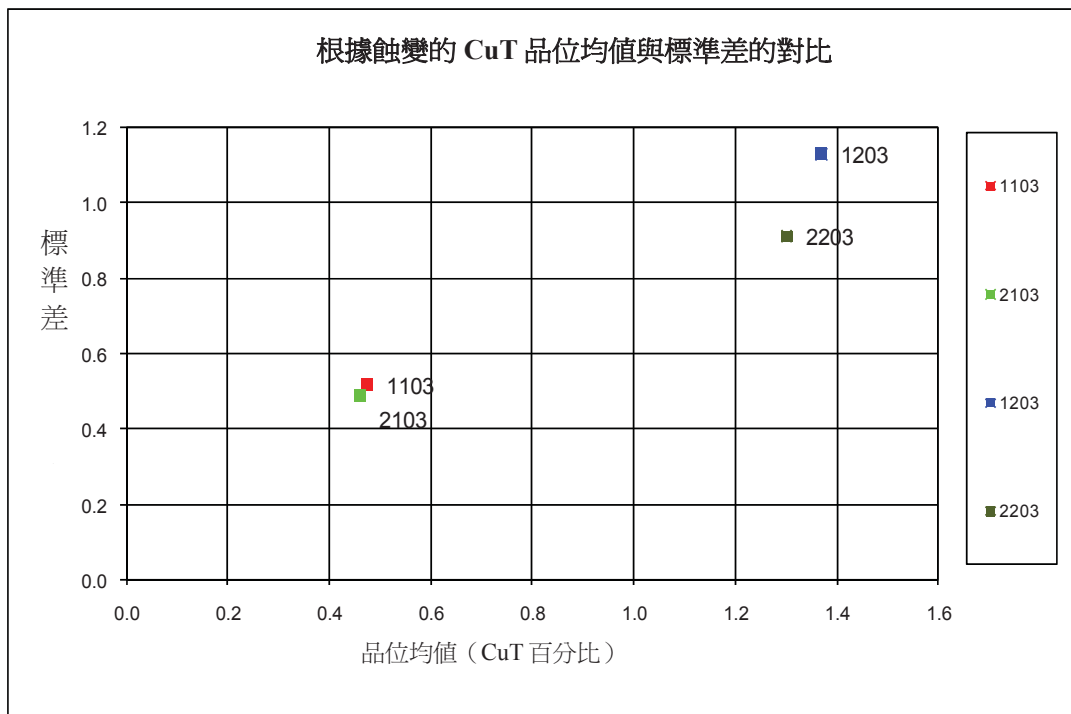
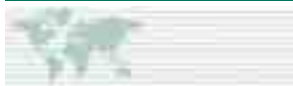


圖 7-19：根據估算區域，總銅均值和標準差的對比

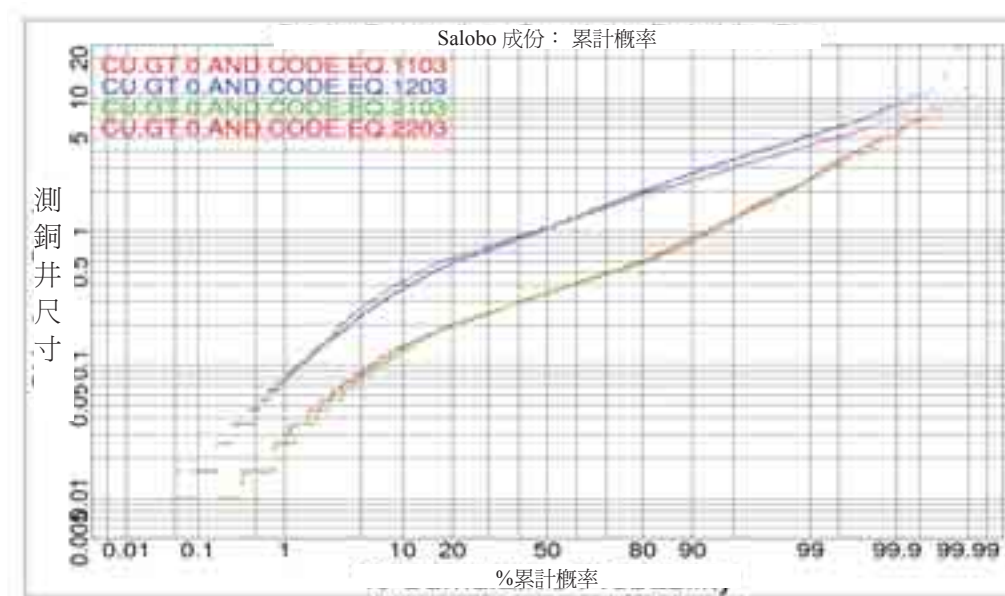
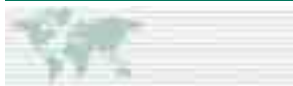


圖 7-20：估算區域覆蓋總銅累積概率圖



金

統計數據分析（總結在表 7-15）顯示了在高品位和低品位金區域之間的良好相關性。

表 7-15：金複合物的統計數據摘要（按長度計重）

區域	數字	最小	最大	平均值（金 ppm）	標準差	方差	變異係數
1103	16,963	0.100	0.600	0.248	0.129	0.017	0.522
2103	6,119	0.100	0.599	0.247	0.132	0.017	0.535
1203	5,885	0.600	67.270	1.657	2.321	5.385	1.401
2203	1,972	0.600	58.370	1.517	2.380	5.665	1.569

統計數據分析建議低品位金區域 1103 到 2103 的分組，其在圖 7-21 平均品位和標準方差圖中得到了良好體現。同時分佈分析（圖 7-22）也表明該等區域屬於同一礦群。至於對總銅的評論，這兩個單位有不同的持續性方向。鑒於地質和結構的特徵，該等區域被充分定義為獨立的估算單位。

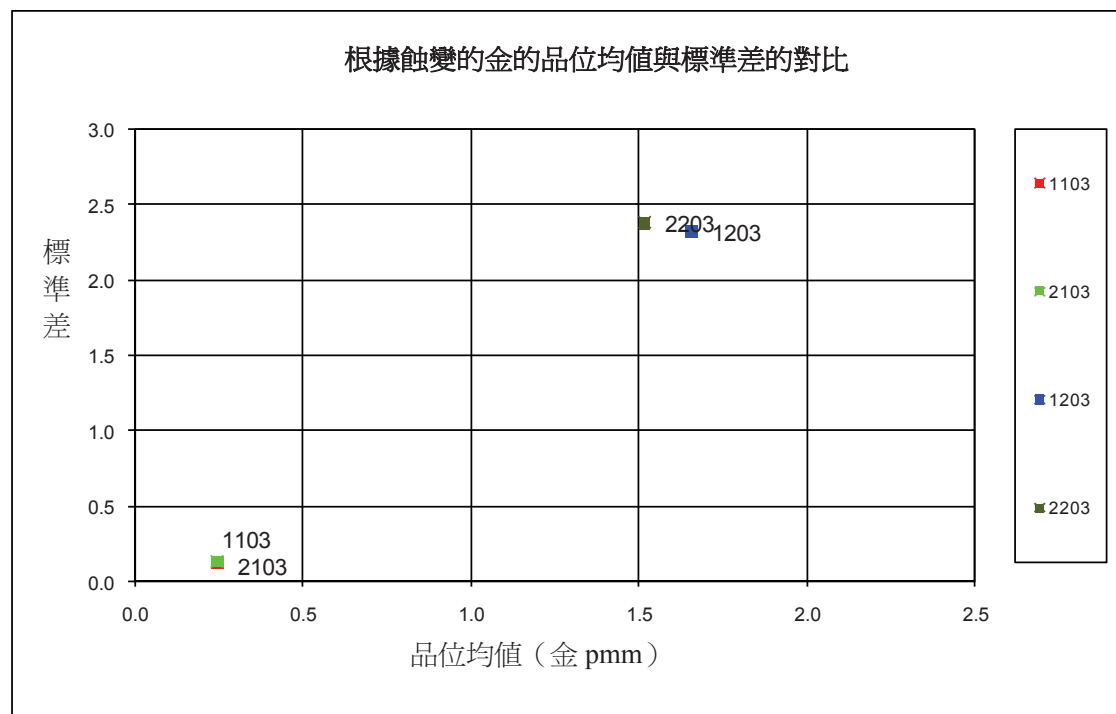


圖 7-21：根據估算區域，金平值和標準差的對比

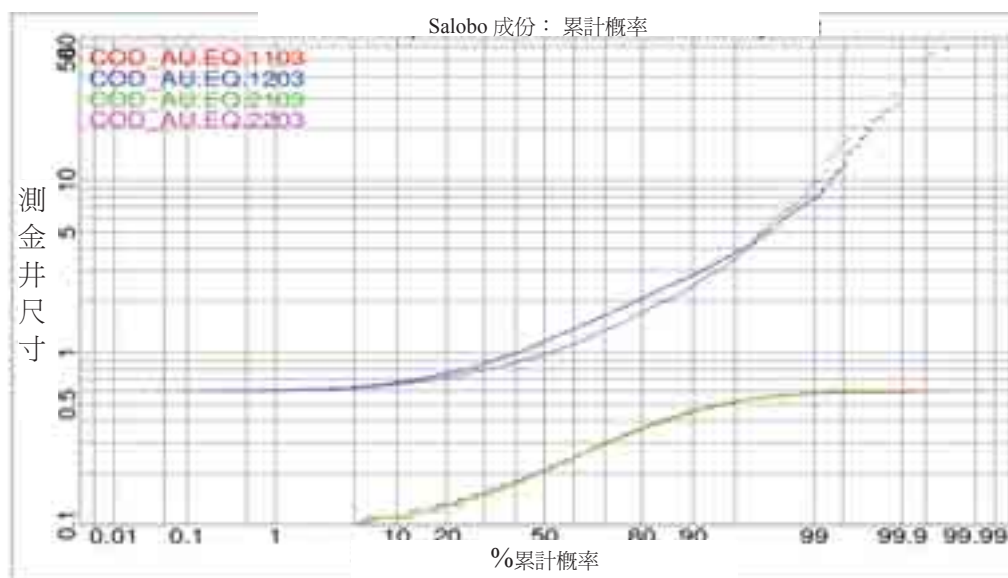
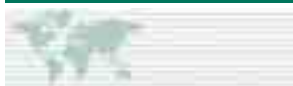


圖 7-22：估算區域覆蓋金的累積概率圖

鑒於統計數據分析表明在兩個低金區域的相似特徵和分佈，為達到估算目的在其接觸的附近區域共享複合物是有可能的。

在審查各部分間的累積概率圖時，在分佈中沒有發現能使高品位和低品位礦群分離的斷層。但是在所選 0.6ppm 閾值所有例子中金幾乎佔礦群的 90%，其被認為是高品位金區域的合理定義。

金品位估算區域的定義被認為在 Salobo 是充足的。

密度

表 7-16 總結了為估算區域而獲得的密度基本數據。複合物依據長度進行計重。圖 7-23 顯示了在估算區域的平均品位和標準差的對比。在大體上估算區域定義和統計數據特徵保持一致。

表 7-16：密度複合物的統計數據摘要（按長度計重）

區域	數字	最小	最大	平均值（密度 g/cm ³ ）	標準差	方差	變異係數
1103	17,875	1.710	8.761	3.285	0.306	0.093	0.093
2103	6,241	2.110	4.709	3.170	0.329	0.108	0.104
1203	10,652	1.730	5.620	3.612	0.465	0.216	0.129
2203	4,442	2.000	5.145	3.464	0.374	0.140	0.108



根據蝕變的密度品位均值與標準差的對比

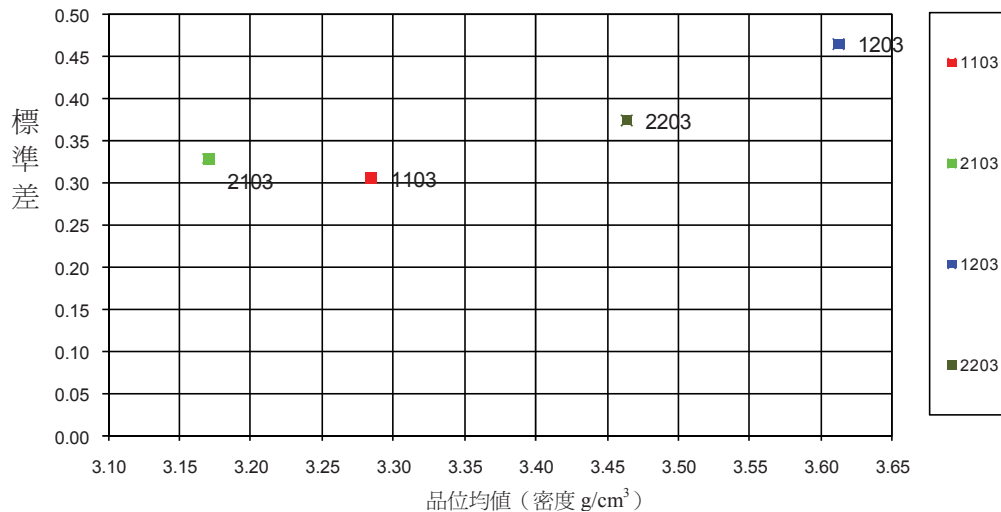


圖 7-23：根據估算區域，密度平均值和標準差對比

統計數據分析的結果，平均值和標準差圖以及分佈對比（圖 7-24）都顯示出該等單位有足夠的分離，並且形成獨立的估算區域。由於磁鐵礦和高品位銅的極強關聯性，該結果與高品位的總銅區域與高密度單位相關的概念相一致。反之低品位的總銅和低密度區域的相關也是有效地。

密度估算區域的定義被認為在 Salobo 是充足的。

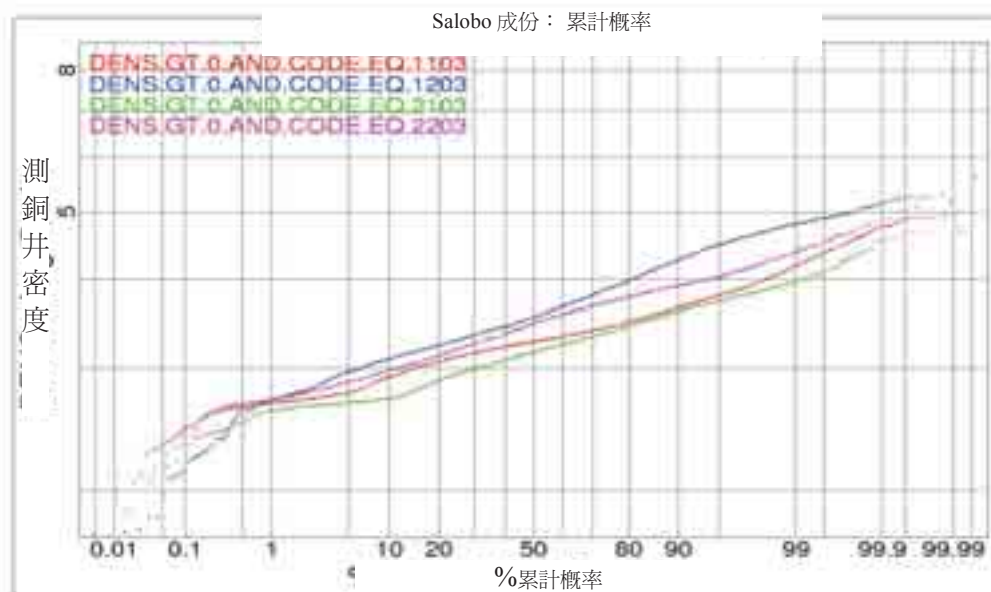


圖 7-24：估算區域覆蓋的密度累積概率圖

總銅接觸分析

Golder 在當前總銅估算區域裏進行了獨立的品位接觸理論分析。



分析表明在高品位和低品位區域間的接觸是困難的，該結論支撐了 Salobo 採用的總銅估算標準。

在接觸時低品位區域裏總銅品位有輕微的過渡是可以觀察到的。鑒於在各部分發現的該等礦群中存在相似性，接觸分析結果建議在接觸附近的這些區域間分塊共享樣本。

接觸分析研究表明在大體上邊界已充分應用於總銅估算區域。但是為在低品位區產生更強的估算結果，改善樣本選擇戰略是可能的。

金接觸分析

獨立的金接觸分析顯示出預測到的低品位區域和高品位區域間的硬邊界。總體而言，接觸的本質和金的估算區域定義是保持一致的。

分析表明低品位和高品位的金估算區域間的接觸可在接觸時突然變化，該特徵支持 Salobo 於該等區域內進行金估算時採用硬邊界進行樣本選擇。

在低品位或者高品位金區域（按區劃分）的接觸分析中顯示，接觸時，品位的輕微過渡是可以觀察到的。鑒於 EDA 分析表明這些不同礦群是極其相似的，接觸分析證明了為達到金估算目地在接觸附近進行樣本共享的想法。

接觸分析研究表明在大體上邊界已充分應用於金估算區域。但是為產生更強的估算結果改善樣本選擇策略是可能的。

密度接觸分析

獨立的密度接觸分析顯示出低品位區域和高品位區域間的硬邊界，正如預料之中。總體而言，接觸的本質和密度估算區域定義一致。在低密度和高密度區域間的接觸被證明是很難的，支持 Salobo 在密度估算時進行樣本選擇的戰略。

接觸分析研究表明在大體上邊界已充分應用到密度估算區域。

空間相關性和變差法

變差計算和模化由 Vale 使用 Gemcom® 完成。Golder 運用總銅，金和密度的所用估算區域的相關圖計算檢查 Salobo 的變差。在驗證過程中使用的相關圖模型基於各元素文件 Variogramas 2007_salobo.doc 中所描述的模型。該過程包括以下步驟：

使用 Golder 軟件進行實驗相關圖的計算；

採用井下(DTH)相關圖的方法檢查金金塊效應的解釋；

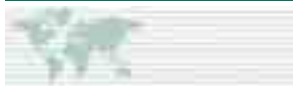
估算主要持續性方向內獨立計算的實驗相關圖的相關圖模型的適合度；

滯積距離、角度公差和頻帶寬度等參數在實驗相關圖的獨立計算中進行了複製。

總銅

為檢查總銅金塊效應的解釋，潛孔相關圖分析表明所採用的值大致充足。所得評論結果如下：

- 採用的金金塊效應和 Vale 在他們的 DTH 分析中提供的數據稍有不同。但是應用在相關圖模型的金塊同



DTH 數值極其相似，此結果可接受。

- 區域 1103 和 1203 的 DTH 相關圖表明所用的金塊效應合理。

區域1103和1203的DTH相關圖表明所用的金塊效應合理。但是所用的數值稍高於完善的實驗數值。用於總銅估算的相關圖模型概列於表7-17中。該模型適合Golder單獨採用的實驗相關圖。所有模型均可可以接受，細微的變化運用於改進以下所述情況中實驗相關圖的適合度：

- 應用於區域 1103 和 2103 主要方向內相關圖模型的範圍將減少以完善其實驗數值的適合度。
- 應用於區域 1203 和 2203 半主要方向內相關圖模型的範圍將減少以完善其實驗數值的適合度。
- 另一方面，有建議稱在接觸分析探測到的高品位區域和低品位區域裏產生一條礦帶以共享樣本，據觀察所提到區域的取向和蛤異性相似，此結果與該建議一致，從而支持了該建議。

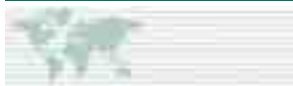
表 7-17：總銅相關圖模型綜述

銅區域	方向 (Az/Dip)	金塊 效應	第一結構			第二結構		
			岩床 對比度	類型	範圍	岩床 對比度	類型	範圍
1103	130/-70	0.43	0.47	sph	9	0.10	sph	120
	40/0				10			45
	130/20				20			90
1203	220/-80	0.30	0.55	sph	15	0.15	sph	100
	130/0				30			80
	220/10				10			45
2103	120/-70	0.50	0.40	sph	20	0.10	sph	150
	30/0				20			65
	120/20				10			90
2203	30/-80	0.27	0.60	sph	20	0.13	sph	120
	120/0				75			120
	30/10				30			90

總銅採用的的相關圖被認為可接受。建議小幅修改以使模型符合實驗室數值。

金

即使用四個區域來估算金的品位，每個區域都有不同的相關圖模型，Vale 分析表明僅會在兩個單元進行 DTH 相關圖的金塊效應分析：低品位和高品位。Golder 將 1003 和 2003 區分組為高和低品位以確保獨立的分析符合 Vale 的努力。但是獨立的 DTH 相關圖計算 DTH 相關圖有每個估算區域單獨獲得。如果數據足夠的話，更好的做法是依照每個獨立的估算區域決定金塊效應。



從 DTH 相關圖的分析中可知，金相關圖採用的金塊數值被低估。實驗數據表明兩個單元的金塊效應要高於模型的。

模擬金塊效應充分應用於金估算的相關圖模型中。

金估算採用的相關圖模型概列於表 7-18 中。

表 7-18：金相關圖模型綜述

金區域	方向 (Az/Dip)	金塊 效應	第一結構			第二結構		
			岩床 對比度	類型	範圍	岩床 對比度	類型	範圍
1003 HG	220/-80	0.40	0.47	sph	5	0.13	sph	83
	130/0				50			75
	220/10				10			30
1003 LG	130/-70	0.35	0.50	sph	10	0.15	sph	490
	40/0				13			120
	130/20				10			430
2003 HG	210/-80	0.40	0.47	sph	10	0.13	sph	120
	120/0				78			100
	210/10				25			45
2003 LG	120/-70	0.35	0.50	sph	20	0.15	sph	125
	30/0				53			80
	120/20				50			100

總體而言，為達到金估算區域所採用的相關圖模型被認為可接受。應用在區域 1003LG 和 2003HG 主方向的範圍以及應用在區域 1003LG 和 2003HG 半方向的範圍應當減少，為完善其適合實驗數值。

另一方面，有建議稱在接觸分析探測到的高品位區域和低品位區域裏產生一條礦帶以共享樣本，據觀察所提到區域的取向和蛤異性相似，此結果與該建議一致，從而支持了該建議。

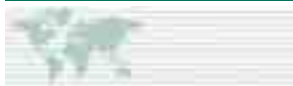
金採用的相關圖被認為可接受。建議小幅修改以使模型適合於實驗數值。如果可能的話，則單獨計算每個估算區域的金塊效應。

密度

用於定義金塊效應的 DTH 相關圖和模型充足，正如 Vale 在變差法文件中描述的一樣。但是實際應用密度估算過程的相關模型使用的是不同的金塊效應（除區域 2203 除外），如表 7-19 所示

表 7-19：DTH 和實際金塊效應對比－密度

密度區域	金塊 DTH	金塊模型（實際）
1103	0.376	0.350
1203	0.381	0.350



密度區域	金塊 DTH	金塊模型（實際）
2103	0.193	0.350
2203	0.300	0.300

使用不同於 DTH 相關圖模擬的金塊效應不予支持 and 記錄。因為此工具在較短範圍內更好的描述了變量，因此 Golder 推薦使用從 DTH 分析中所得的數值。

密度相關圖的金塊效應應該從 DTH 相關圖分析中獲得。如果使用了其他數值，那麼這個決定應當被合理的記錄和支持。

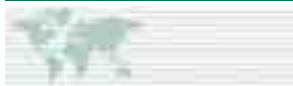
使用在密度估算過程中的相關圖模型在表 7-20 有詳細介紹。儘管在主方向需進行小幅修改以完善並使其滿足實驗數值模型，獨立的相關圖計算和模型擬合表明用於區域 1103 和 1203 的參數可接受。

表 7-20：密度相關圖模型綜述

密度域	方向 (Az/Dip)	金塊 效應	第一結構			第二結構		
			岩床 對比度	範圍		岩床 對比度	類型	範圍
1103	100/-80	0.35	0.49	sph	10	0.16	sph	210
	280/-10				10			250
	10/0				10			125
1203	150/-70	0.35	0.40	sph	15	0.25	sph	420
	330/-20				10			120
	60/0				10			100
2103	200/-75	0.35	0.40	sph	10	0.25	sph	70
	20/-15				10			50
	290/0				5			100
2203	120/-55	0.30	0.40	sph	30	0.30	sph	125
	300/-35				30			100
	30/0				15			40

實驗數據要比應用在域值為 2103 和 2203 相關模型的數值顯示更長的持續性。當前模擬的範圍太短以至於不能以合理的方式滿足實驗數據。

密度區域 1103 和 1203 模擬的相關圖可接受。推薦小幅修改以完善模型使其符合實驗數據。應用在區域 2103 和 2203 的模型要比建議實驗數值顯示出更短的持續性。並且應修改範圍以完成連續性。另外，從 DTH 分析中派生出的金塊效應應當在模型中實施或者在採用不同數值另行記錄和支持。



分塊模擬和等級估算

分塊模型定義

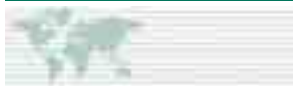
Salobo 資源模型由 Vale 使用 Gemcom®而產生。用尺寸為 15m×15m×15m 的普通分塊模型對資源模型進行估算。

該分塊模塊由 Vale 在 ASCII file Modelo1507_2010.txt 中提供，並導入 Vulcan®以供深入分析。Vulcan® 模型與文件 SALOBO.bmf相對應。有關分塊模型定義詳見 7-21。

表 7-21：Salobo 區塊模型定義

定位	軸承	傾角	傾斜
	111.27	0	0
來源	東	北	海拔
	548,540	9,359,800	-457.5
母塊尺寸	15	15	15
母塊數目	348	150	67

為實現原位礦產資源估算，以期達到合理的估算品質和可控的平滑效果，分塊模型構件尺寸和組合長度可接受。



估算參數

關於總銅品位，金品位與密度的查勘參數與使用樣本的配置分別詳見表 7-22，表 7-23 及表 7-24。隨著估算設計中半徑計算法的增加，克里格計算對每個估算區域的探究基於一致的樣本配置方案（除了設計估算用於填充的非估算組塊）。

表 7-22：總銅估算方案

描述		查勘參數						樣本配置				
		轉數			半徑			N° 最低 卦限	每個卦 限最大 樣本	最小 樣本	最大 樣本	每次鑽孔 的最大樣 本
區域	通過	方位角	傾角	伏角	主要	次要	半主要					
1103	1	-40	-90	70	144	108	54	4	9	18	36	9
	2	-40	-90	70	288	216	108	4	9	18	36	9
	3	-40	-90	70	432	324	162	4	9	18	36	9
	4	-40	-90	70	510	410	260			1	36	9
1203	1	-40	10	0	96	54	120	4	9	18	36	9
	2	-40	10	0	192	108	240	4	9	18	36	9
	3	-40	10	0	288	162	360	4	9	18	36	9
	4	-40	10	0	500	400	600	1	20	1	36	9
2103	1	-30	-90	70	180	108	78	4	9	18	36	9
	2	-30	-90	70	288	216	108	4	9	18	36	9
	3	-30	-90	70	540	324	234	4	9	18	36	9
	4	-30	-90	70	540	540	350			1	36	9
2203	1	-30	10	0	144	108	216	4	9	18	36	9
	2	-30	10	0	288	216	432	4	9	18	36	9
	3	-30	10	0	432	324	648	4	9	18	36	9
	4	-30	10	0	500	400	600	1	20	1	36	9



表 7-23：金估算方案

描述		查勘參數						樣本配置				
		轉數			半徑			N° 最低 卦限	每個 卦限 最大 樣本	最小 樣本	最大 樣本	每次 鑽孔 的最大 樣本
區域	通過	方位角	傾角	伏角	主要	次要	半主要					
1103	1	-40	-90	70	190	100	30			18	36	9
	2	-40	-90	70	380	200	60			18	36	9
	3	-40	-90	70	570	300	90			18	36	9
	4	-40	-90	70	760	400	90			18	36	9
	5	-40	-90	70	760	450	60			18	36	9
1203	1	-40	10	0	90	36	100			18	36	9
	2	-40	10	0	180	72	200			18	36	9
	3	-40	10	0	270	108	300			18	36	9
	4	-40	10	0	360	108	400			18	36	9
	5	-40	10	0	450	108	500			18	36	9
2103	1	-30	-90	70	150	120	96			18	36	9
	2	-30	-90	70	300	240	192			18	36	9
	3	-30	-90	70	450	360	288			18	36	9
	4	-30	-90	70	600	480	192			18	36	9
	5	-30	-90	70	750	600	96			18	36	9
2203	1	-30	10	0	120	54	144			18	36	9
	2	-30	10	0	240	108	288			18	36	9
	3	-30	10	0	360	162	432			18	36	9
	4	-30	10	0	480	162	576			18	36	9
	5	-30	10	0	600	108	720			18	36	9

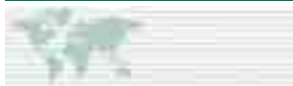


表 7-24：密度估算方案

描述		查勘參數						樣本配置				
		轉數			半徑			N° 最低 卦限	每個 卦限 最大 樣本	最小 樣本	最大 樣本	每次 鑽孔 的最大 樣本
區域	通過	方位角	傾角	伏角	主要	次要	半主要					
1103	1	-40	-90	70	500	228	258	4	9	18	36	9
	2	-40	-90	70	500	300	400	4	9	18	36	9
	3	-40	-90	70	500	500	500			18	36	9
	4	-40	-90	70	500	500	500			18	36	9
1203	1	-40	-10	0	96	30	132	4	9	18	36	9
	2	-40	-10	0	192	60	264	4	9	18	36	9
	3	-40	-10	0	288	90	396	4	9	18	36	9
	4	-40	-10	0	500	400	600	1	20	18	36	9
2103	1	-30	-90	70	600	192	144	4	9	18	36	9
	2	-30	-90	70	600	384	288			18	36	9
	3	-30	-90	70	600	500	432			18	36	9
	4	-30	-90	70	600	500	500			1	20	9
2203	1	-30	10	0	72	54	384	4	9	18	36	9
	2	-30	10	0	144	108	700	4	9	18	36	9
	3	-30	10	0	216	162	700	4	9	18	36	9
	4	-30	10	0	600	500	700	1	20	1	20	9

資源模塊報表表明：採用 1.5 倍的範圍值獲得第一次測量半徑裝置相關模型砥柱圖，並且第二次和第三次裝置分別為第一次測量半徑裝置的 2 倍和 3 倍。第四次測量足以分配礦殼內所有組塊的品位。

每個單元的估算參數選取及通過次數的原因應清晰並備有充分的相關證明。此證明應當包括估算參數的迭代變化記錄，從而證實估算結果的改進。

查勘距離及非均質性

第一和第二次估算通過次數的查勘距離被認為過大。驗證上述觀點的事實是第一次結構圖平均測量百分比為總變量的 85%，在大多數情況下範圍小於 40 米。根據相同的看法，若樣本選取方案基於相關圖的非均質性，則第一估算通過次數應當運用第一結構而不是第二結構的取向度及非均質性。



至於第四次通過，因為它被應用於所有組塊的估算，查勘距離可用，然而這些通過次數中的組塊估算都不應當被區分作為測量得出或探明的資源。

當前的勘察橢圓測量結果相當順利，此測量方法結合了最小和最大樣本參數。並且，大測量半徑加上高收益且無低收益局限性的使用，會造成低品位模擬塗抹，低估在某種估算區域內的總方法。

最大/最小樣本

考慮到資源模型的組塊高度是 15 米，樣本的最小和最大數量應屬充分，因為混合區尺寸相當於 36 米和 72 米（也即分別為組塊高度的 2.4 倍和 4.8 倍）。

卦限

卦限查勘是一個有用的參數，它可以確保從不同方向上的良好空間覆蓋和影響。目前而言，黃金克里格計算中還沒有應用任何卦限限制。在使用來自一個單一半球的樣本進行推斷時，沒有應用卦限限制可能導致對組塊的插值。根據報告使用的國際標準，這樣的組塊不能被歸為「已測量的」或「已標明的」。

每個鑽孔的最大樣本

每個鑽孔樣本的最大數量與一個較高的混合區最小數量聯合使用是一個良好的實際做法，因為這種方法強迫使用兩個以上的鑽孔，從而確保使用的樣本不會偏向一個單一的鑽孔。

當前的配置確保至少使用來自兩個以上鑽孔的樣本；避免使用來自單一鑽孔的樣本對一個組塊進行估計。這種實際方法被視為充分。

高品位限制

對偏離每個單位的品位累計分佈的異常高值的影響進行限制是良好的實際做法。

對於三個變量，高產量限制已經應用到了所有區域。所有變量使用的閾值和影響容量概述於表 7-25。

對影響容量規定為使用第一次估計總範圍的大約 50%。同樣的，考慮到應用的最小半徑，100 個組塊受到了外露層的影響。這一點再結合評估的執行使用 2 米混合區（這一尺寸優先於現存的外層值）這一事實，則控制這些混合區的容量應當較小。

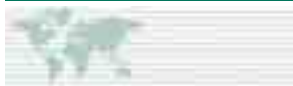


表 7-25：高產處理定義

區域	高產 值 銅	半徑			高產 值 金	半徑			高產 值 密 度	半徑		
		主要	次要	半主 要		主要	次要	半主 要		主要	次要	半主 要
1103	2.53	70	54	27	不適用	不適用	不適用	不適用	3.84	300	120	125
1203	3.72	48	27	60	5.89	45	18	50	4.55	45	30	65
2103	2.44	45	30	20	不適用	不適用	不適用	不適用	3.77	300	90	70
2203	3.82	67	54	108	6.35	60	27	72	4.09	35	25	200

為證實應用於每個高產限制的閾值而做出了獨立檢查，獨立檢查通過估計區域，對每一個變量使用累計機率圖。分析的結果表明，已經選擇了全域的 98% 以確定閾值。對 Salobo 而言，這已屬充分。

組塊模型確認

為了檢查 Salobo 資源模型的真確性，需要執行一個獨立的組塊模型驗證，以評估克里格計算的表現，以及與輸入數據的一致性。所執行的一系列綜合檢查包括：

- 混合區和組塊模型統計數據比較；
- 估計品位與混合區品位的目視檢查；
- 對比條形圖表的組塊品位與混合區品位；

作為在此審計中所執行確認的一個一般性評價，分析僅僅確定評估是否按照預期執行。可接受的確認結果並不必然表示模型正確，或來自正確的評估方法。它僅表示資源模型是所用數據和所應用評估方法的一個合理呈現。

統計學對比

在混合區和估計值之間進行全面統計數字對比是對評估結果執行全面檢查的一個有用方法。組塊模型顯示了對輸入數據的一致性，並且應當觀察到與數據平均品位的緊密一致性。通過以下標準將平均品位一致性列成表格：

- 值接近 0% 表示良好符合。負值表明模型估計比數據保守，正值則表示在估計中高估了總體平均值。總而言之，差異小於 5% 是可取的，差異超過 10% 則應當注意。



起初，爲了獲得根據元素和區域劃分的代表性樣本分佈，通過使用單元破簇、備選克里格計算方案、距離冪次反比和其他方法，產生了一系列獨立的破簇權值。組塊模型統計數字將子單元組塊模型的容量尺寸作爲權重因數。結果說明，距離冪次反比驅動的權值是礦藏的最好破簇方法；因此，使用此方法執行統計對比。

對銅總量的整體統計分析表明，所有區域的組塊估計符合去簇混合區的整體方法。所有區域顯示，相比去簇混合區平均值，整體平均值有一些低估，而去簇混合區平均值表示組塊估計較爲保守。

對黃金的整體統計分析表明，所有區域的組塊估計符合去簇混合區的整體平均值。相對於去簇混合區平均值，四個區域中有三個區域呈現出平均值的輕微低估。這三個區域的結果表明評估是保守的。

對密度的整體平均值分析表明結果對所有區域均屬充分。

目視檢查

銅的全部目視檢查表明，組塊估計符合混合區品位。由地質和混合區支持的品位連續性總體上由礦物資源模型很好的複現。所有提供的例子顯示混合區中低和高的總銅區的垂直連續性到接近垂直連續性，連續性通過組塊品位反應。

圖 顯示了塊估計的良好的垂直連續性到接近垂直連續性，組塊估計由混合區數據支持。此圖也說明，鑽孔內的總銅品位不符合組塊模型。大查勘半徑的使用產生了平滑的總銅估計。

如圖 中的高亮區域所見，在一些評估通過中使用大查勘半徑模糊了一些沒有觀察到連續性的區域的高品位。

最後，7-27 以深度表示大量待估算的塊（沒有鑽孔支持）。考慮到礦床的深度範圍尚未確定，實際中最好在離鑽孔底部若干距離上建立一個地理信息極限面，以避免將礦產資源散佈到沒有鑽孔支持的深度。

圖 顯示了Salobo北部和南部分脈之間缺口的平面圖。圖 同樣顯示了總體銅品位的平面圖。此對比的目標是爲支持對兩個區域間共享樣本的建議，以改進塊估算的確定。該等品位表示兩個區域在東-西方向上的若干連續性。目前而言，接近接觸點的塊是從區域內（白色高亮顯示）的鑽孔推算而得。如果於跟隨接觸點的帶內對複合物予以共享，則來自接觸點另一側（黃色高亮顯示）的樣本影響將改進結果，並避免推測品位。

目視分析支持建議對總體銅礦估算各部分間的共享樣本。

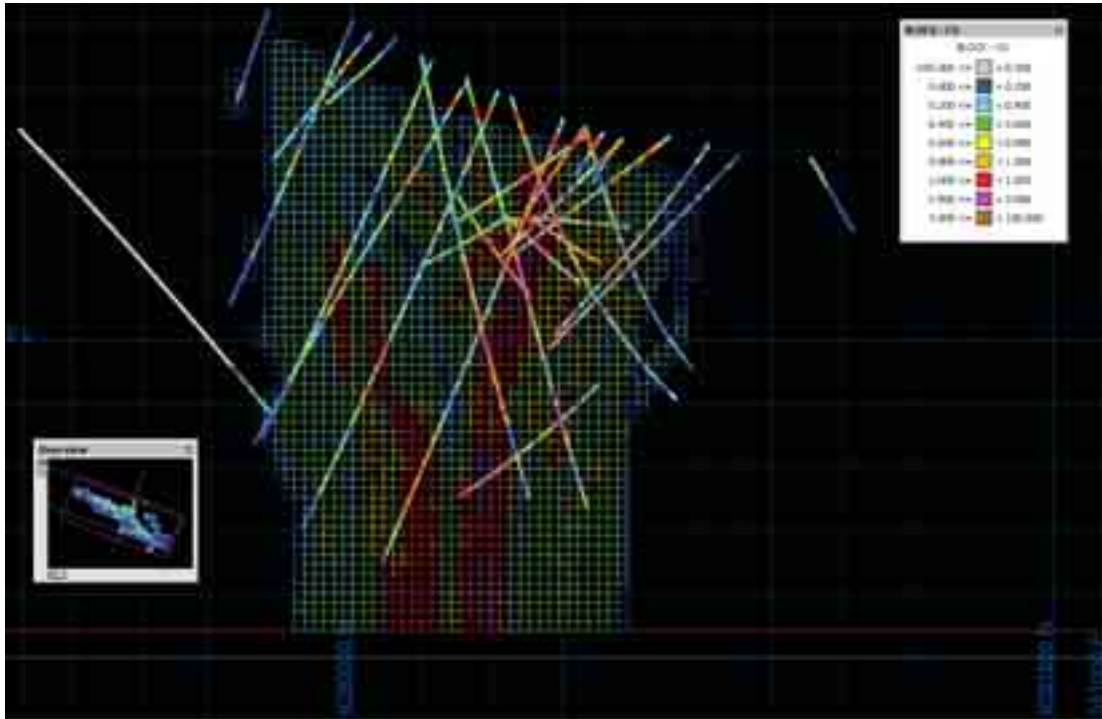


圖 7-25 目視驗證: 總銅礦截面 1 ± 50 米

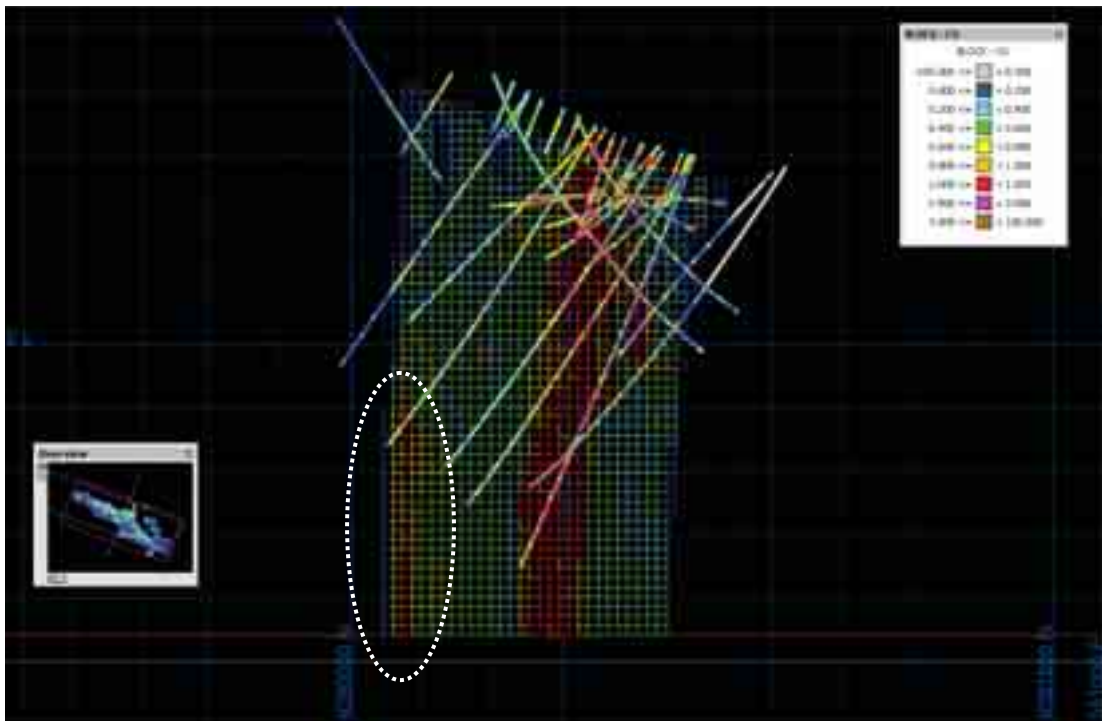


圖 7-26: 目視驗證: 總銅礦截面 2 ± 50 米

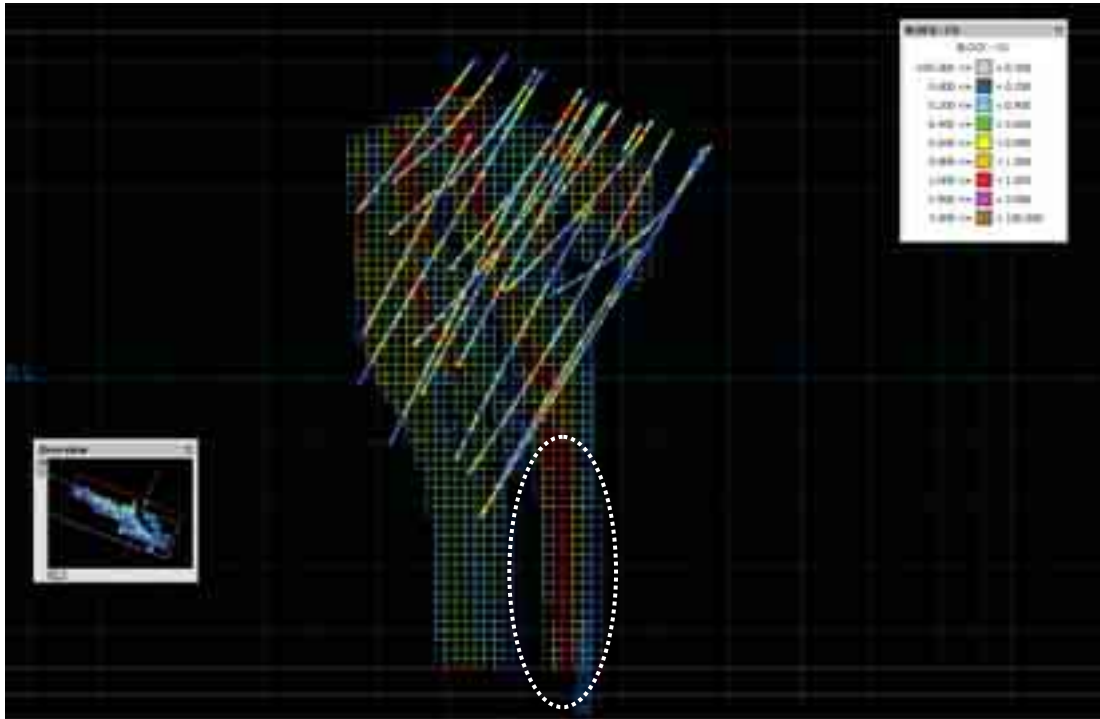


圖 7-27: 目視驗證: 總銅礦截面 3 ± 50 米

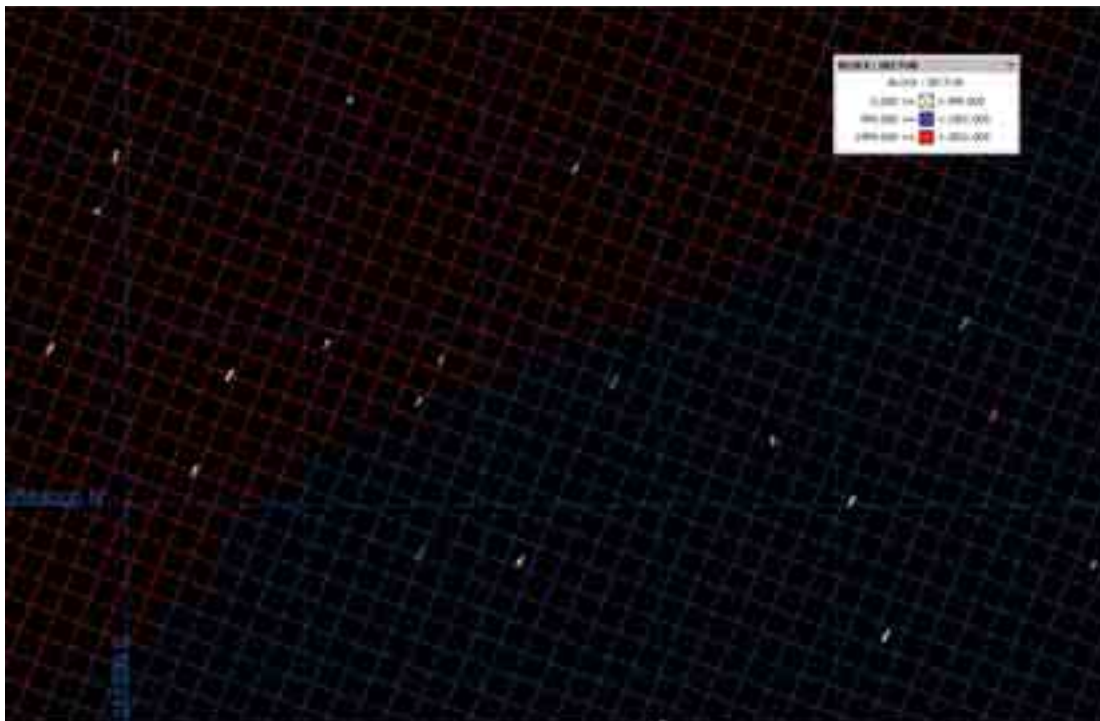


圖 7-28: 目視驗證: 總銅礦平面圖@ -70 米 ± 5 米 (分脈)

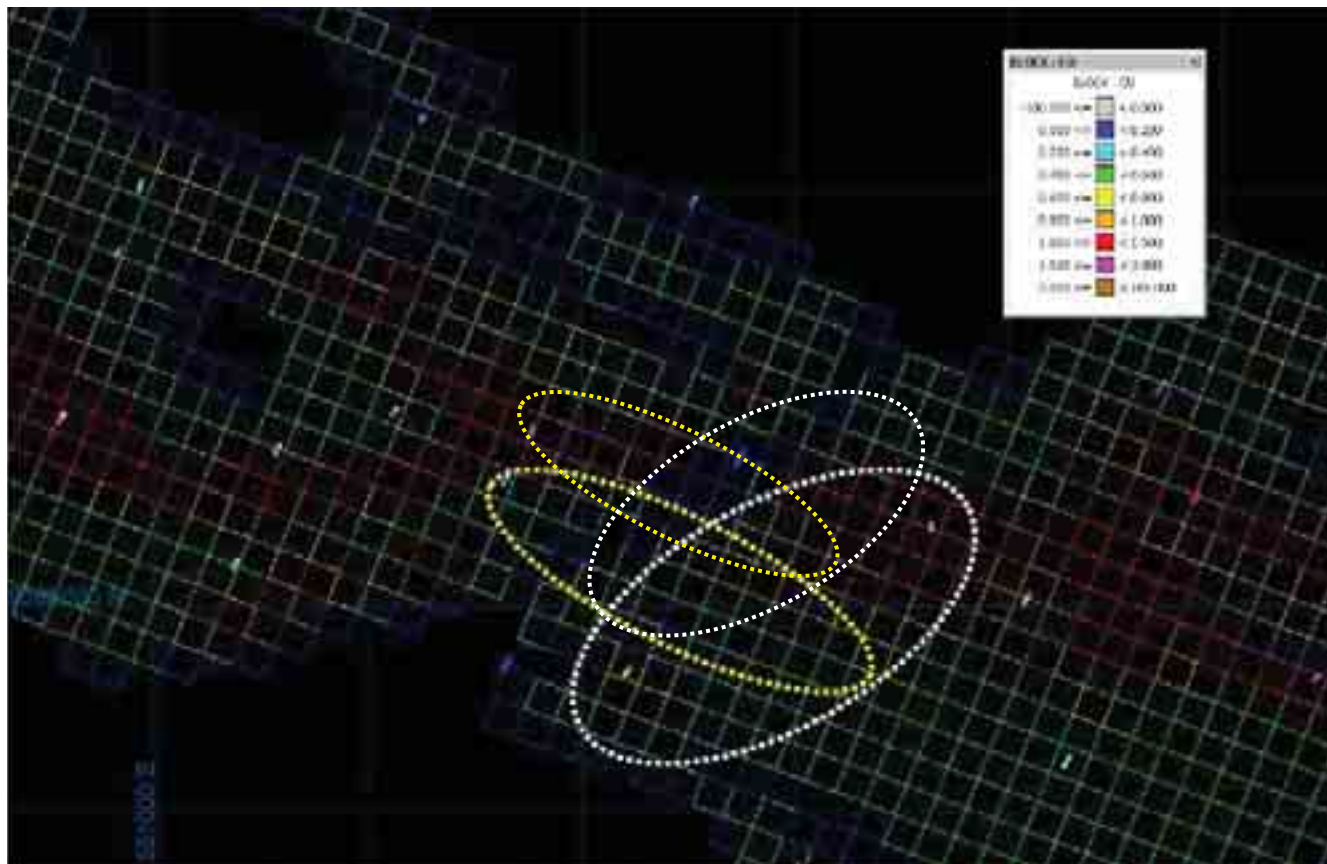


圖 7-29：目視驗證：總銅礦平面圖@ -70 米± 5 米（品位）

金礦估算的目視分析顯示出與總體銅礦結果相同的特徵。總體而言，金礦估算顯示了品位連續性和複合物品位一致性的良好再現。如在圖中所見，在沒有鑽孔的情況下，在模型邊緣上以深度對大量塊進行估算。這一議題支持對地理極限信息邊界的需求，以控制估算容量。結果也顯示出流暢的金礦估算，其中並未充分體現複合物的變化性。

用於金礦估算的另一個有關議題是深度上的高品位大容量估算。7-31 中顯示的高亮區域即是此議題的一個例子。圖（大部分為推測的材料）右邊的區域可由高金礦品位複合物支持，複合物近似垂直於塊。但是，圖左邊的高亮區域處於被低金礦品位塊所包圍的模型最邊緣。對該等塊進行了檢查，但未進行分類。

最後，圖 錯誤! 所指定的樣式的文字不存在文件中。-44 包括一個礦床西部區域的橫截面視圖，顯示了塊附近被低品位包圍的較高金礦品位的放射狀圓環（無鑽孔情況下）。該等人工圖像透過用數次不同估算的漸增半徑實施 IK 方法而得。如果實施 IK 是為確定金礦估算區域，則應當以單程方式執行此方法，而不依賴金礦品位估算。這可能避免此類人工圖像的產生。



SALOBO 礦場審計

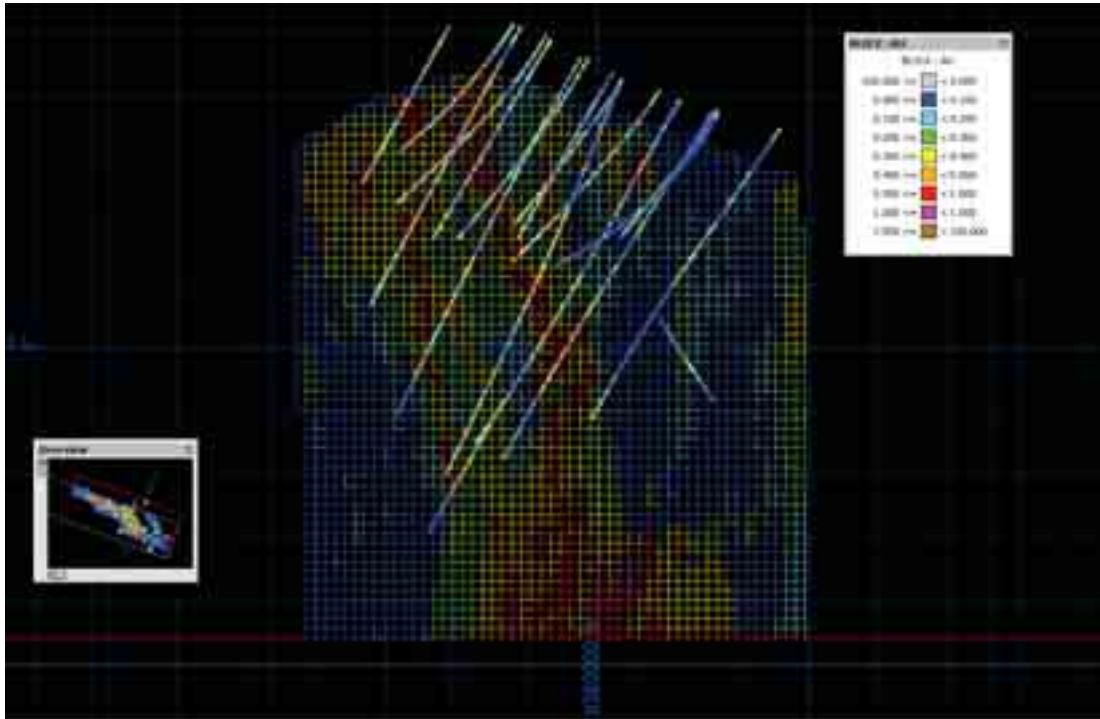


圖 7-30 目視驗證: 金礦截面 1 ± 50 米

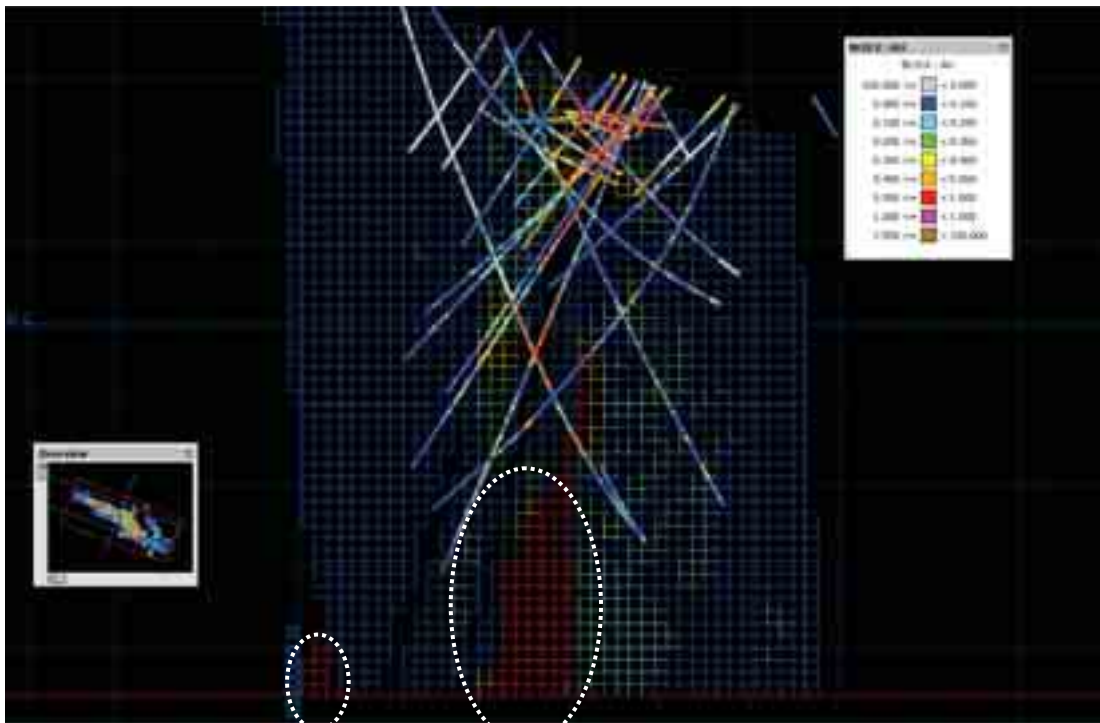


圖 7-31: 目視驗證: 金礦截面 2 ± 50 米

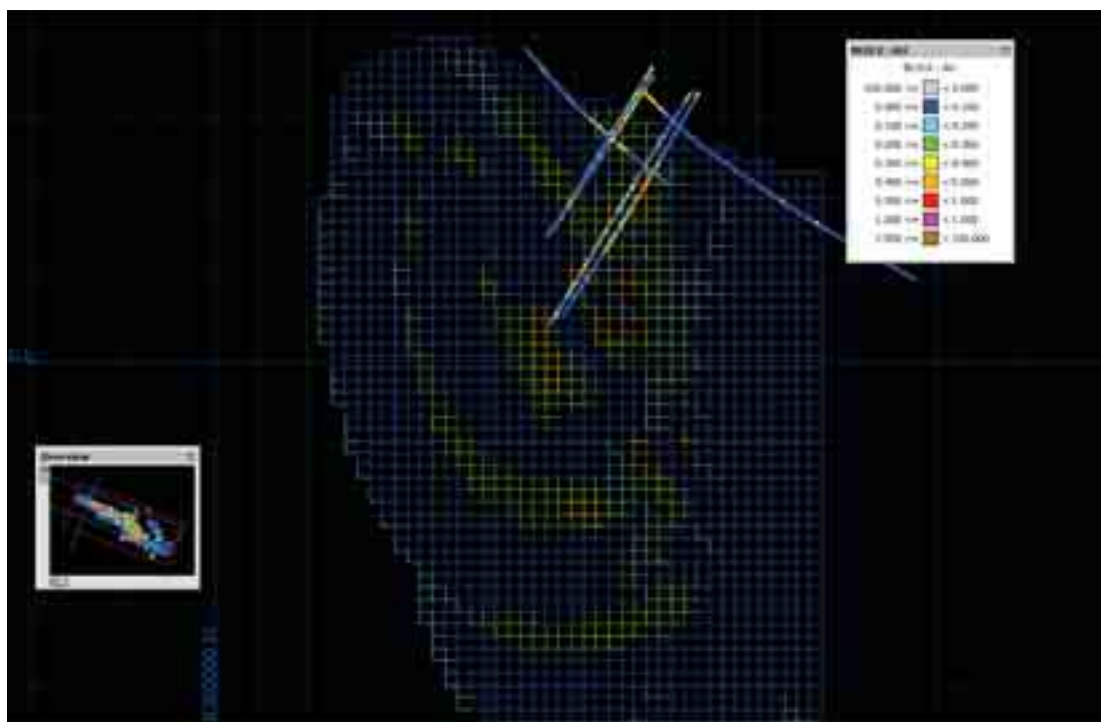


圖 7-32: 目視驗證: 金礦截面 3 ± 50 米

密度目視驗證表明了可在可獲得樣本的區域內塊估算和複合物之間的可接受一致性。結果充分再現了在複合物中觀察到的連續性，但是如在圖中所見，結果較為平滑。同一個圖還顯示了複合物數據不支持的准垂直連續性；考慮到地址單位的幾何構造，此連續性可以接受。

7-34 中顯示的截面包括了一個較低的密度容量，在複合物末端底部觀察所得數值支持該密度容量。但是，對塊呈現的高密度容量（高亮顯示的部分）在複合物以下，這與在整個礦床觀察到的准垂直連續性矛盾。

總而言之，密度估計的結果可以接受。

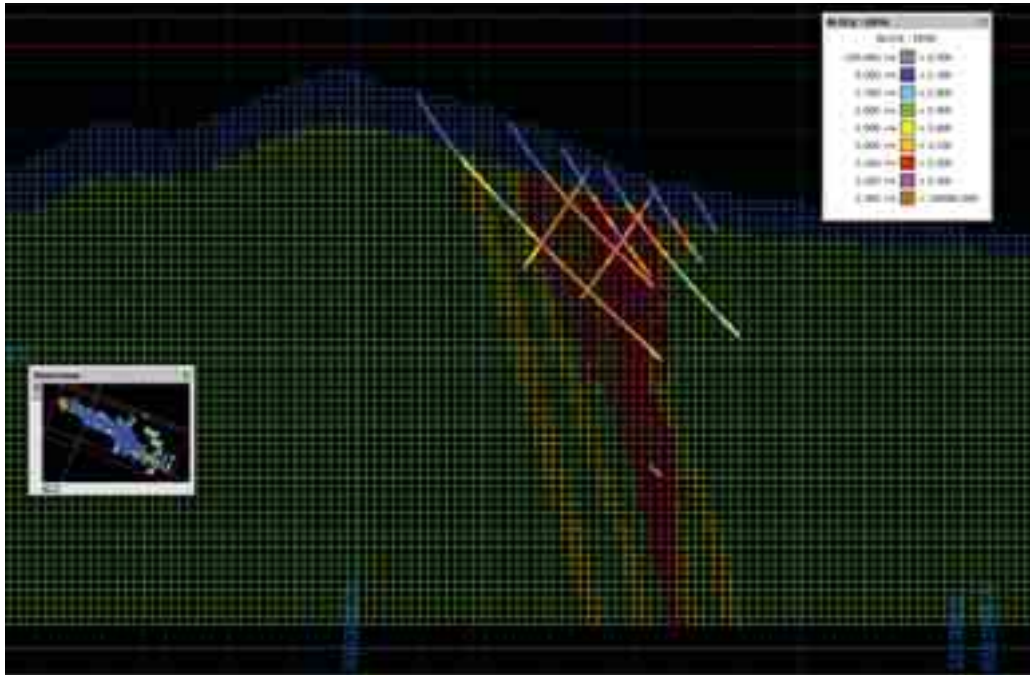


圖 7-33: 目視驗證: 密度截面 1 ± 50 米

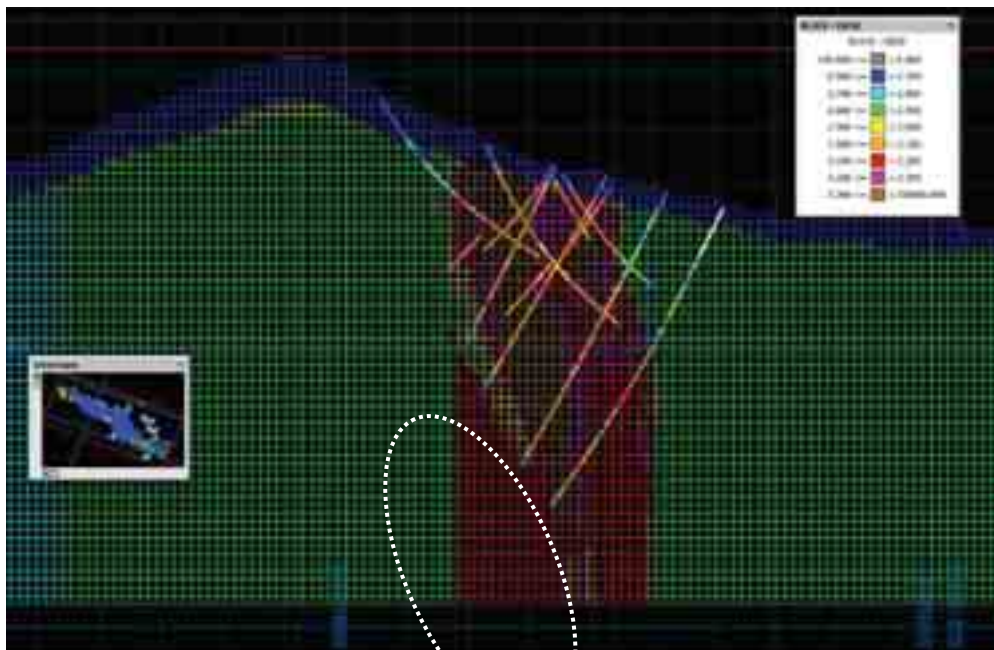


圖 7-34: 目視驗證: 密度截面 2 ± 50 米

條形圖表

在很多情況下，複合物和估算塊品位之間的總體統計比較可能產生潛在誤導，這是因為它們受到推測效果、不規則鑽孔覆蓋範圍和估算區域的幾何構造的影響。為了進一步估計塊品位與數據一致的穩健性，以半局部方法對 Salobo 繪製了條形圖表。



條形圖表的生成包括對塊和樣本在 45 米（朝東）45 米（朝北）45 米（左右）面板處進行平均分配，隨後將面板平均值均分到朝東、朝北和左右朝向的條形中，以建立塊趨勢圖表對比複合物值。面板平均值的使用也考慮到了零碎圖表和麵板品位的 Q-Q 圖表的生成，以提供一個條件性偏差和平滑度的標示。在該等圖表中，兩個非常相似的分佈將沿著 45 度線繪製。顯著偏離表示可能出現過度平滑和偏差。

值得注意的是，整體統計顯示了內插值和外插值聯合的作用，但是條形圖表只能展示內插值的作用。因此，應當解決由條形圖表產生的任何議題，因為其發生在樣本附近。總體來說，總體銅礦的條形圖表顯示了複合物品位和塊估算的良好一致性。2103 年總體銅礦區域結果表明，當與複合物品位相比時，塊模型的局部品位略微有些低估。此結果符合對區域的整體統計分析。整體區域的大部分顯示了局部品位對塊估計的良好再現，局部平均值的略微高估（接近零）從區域 1103 觀察得到。區域 2203 顯示塊模型相對複合物局部平均值的略微低估。此結果與對區域的整體統計分析一致。

密度條形圖顯示出對所有評估區域局部平均值的良好再現。

資源分類

在 Salobo 對塊分類的標準是基於與獨立的克里格插值法運行有關的一系列參數。在內插值的塊（在鑽孔網格方格內）和品位從單個鑽孔外推所得塊之間製造了一些區別。分類過程中涉及到的參數如下：

- 克里格計算中所用樣本的數量；
- 各向異性的距離是基於搜索容量外邊緣和用於內插的每一個數據點之間的相對距離。
- 估算用於標示克里格計算所經過塊的鄰區編碼。編碼 1 表示在第一次克里格計算內對塊使用了克里格法，其使用基於相關圖模型基底的 95%而生成的橢圓體。編碼 2 和 3 分別為第一次克里格法內幾何性質的兩倍和 3 倍。

分類計劃如下：

探明的礦產資源：

- 鄰區編碼等於 1；且
- 至最近樣本各向異性距離小於總體銅礦相關圖模型（根據其基底的 95%）範圍的 1/2；且
- 樣本數量大於 18（必須有兩個鑽孔）。

控制的礦產資源：

- 鄰區編碼等於 2；對最近樣本各向異性距離小於總體銅礦相關圖模型（根據其基底的 95%）範圍；樣本數量大於 18，或
- 在第一個鄰區橢圓體內，或
- 塊內包含樣本。

推斷的礦產資源

- 殼層內的所有其他塊。

分類方案如圖 7 中所示。



與每一個塊有關的鑽孔網格使用到最初四個樣本的平均距離計算，並且每四分之一象限考慮一個樣本。隨後用已計算的網格值（圖 7-36）描繪每一個礦產資源種類。探明的礦產資源用大約 100 米乘 100 米代表網格描繪，而控制的礦產資源顯示出大約 140 米乘 140 米的網格。被分類為探明的礦產資源中接近 25% 從大於 125 米乘 125 米的網格中產生。同時，分類為控制的礦產資源中的 25% 是基於大於 190 米乘 190 米的網格。這兩種情況都被認為受到網格過大的限制。

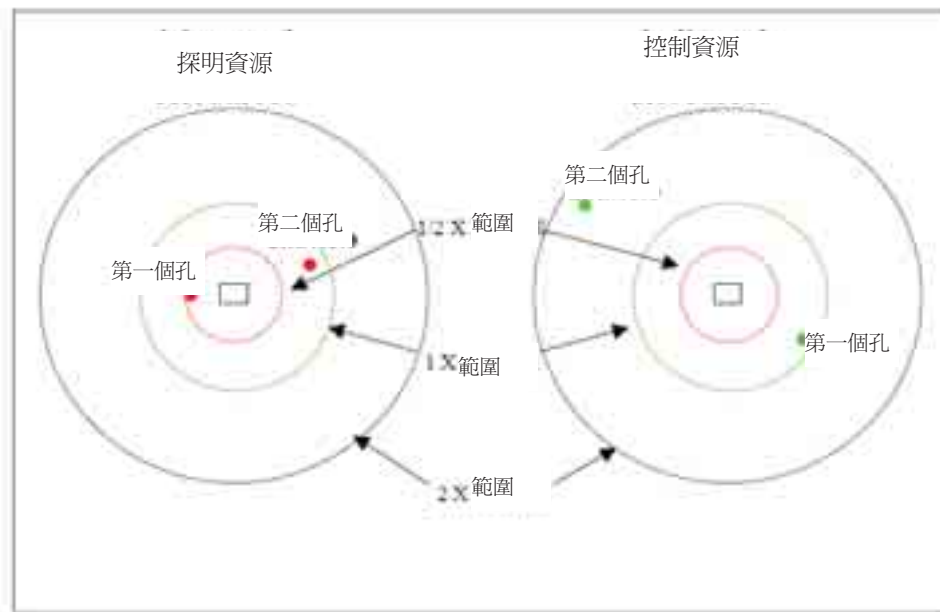


圖 7-35: Salobo 資源模型的分類方案

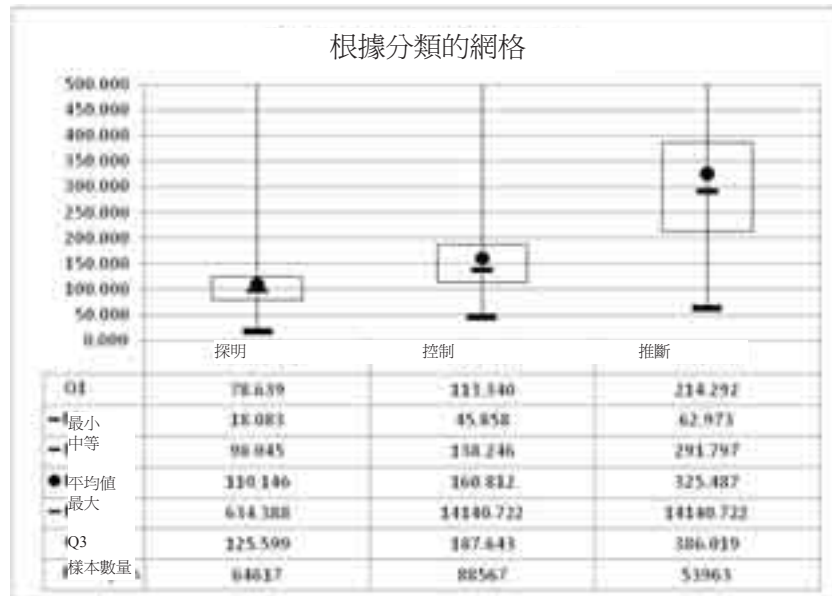


圖 7-36：根據分類分析的鑽探網格

必須檢查已測量的和已標明的礦產資源容量，它們分別根據大於 125 米乘 125 米和 190 米乘 190 米的網格確定。

Salobo分類沒有考慮平滑修正。如圖 所見，可以發現單獨的塊被其他不同種類的塊包圍，這種現象被認為是「椒鹽效應」。對分類結果進行平滑修正是一個良好的實際做法，通過此法可以獲得更加連續和一致的分類容量。實際中，使用平滑修正時應當注意保持不同種類在最終結果中的比例。



SALOBO 礦場審計

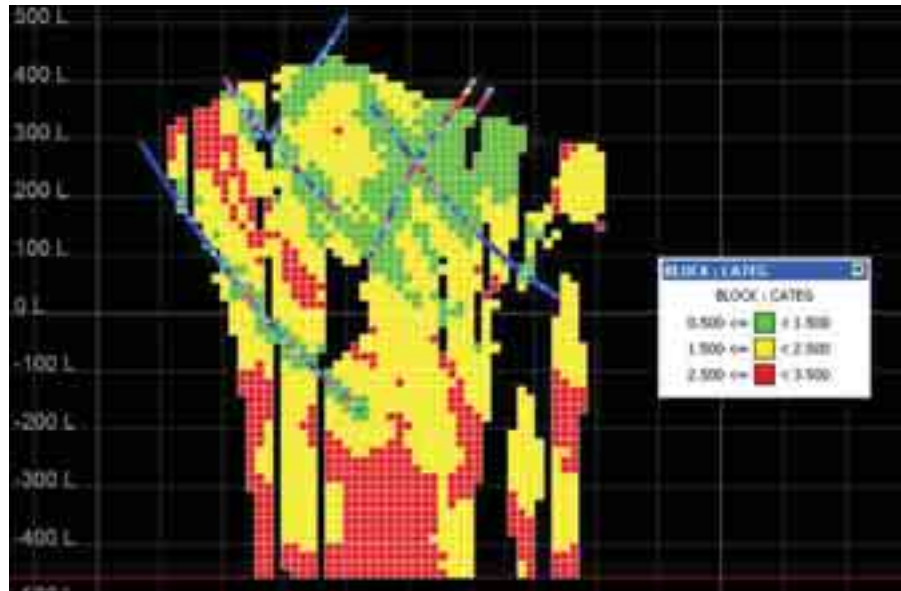


圖 7-37：Salobo 分類：「椒鹽效應」

Salobo 分類方案過度考慮了樣本的幾何構造，而忽略了地質構造或品位不確定性。因此，分類結果顯示了一個清晰的趨勢，即在鑽孔周圍隔離已測量的礦產資源；當對檢查截面選擇西南方位角時（圖 7-38），這一效果將更加清晰。

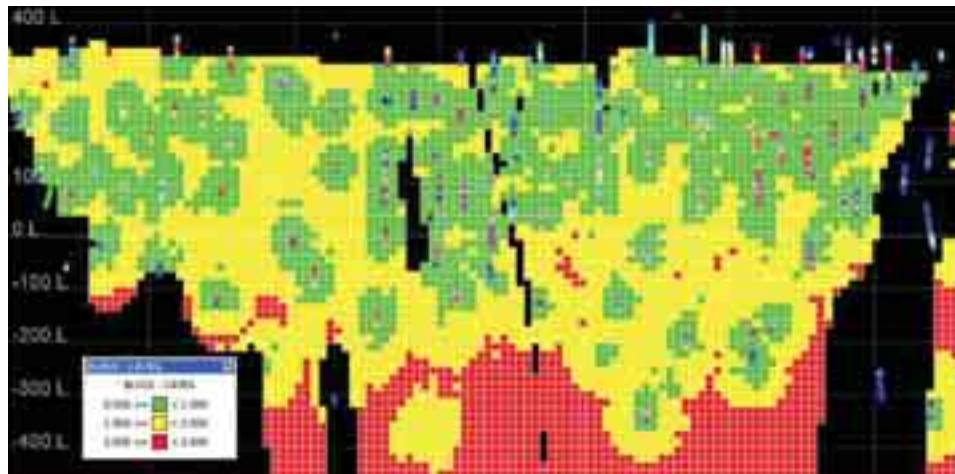
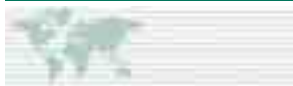


圖 7-38: Salobo 分類: 截面顯示了鑽孔周圍的探明礦產資源

對塊分類執行的另一個檢查表明，在第三次中估計的塊被歸類為已探明的（2%）或控制的礦產資源（14%）。考慮到用於第三次和第四次克里格計算的最大搜索橢圓，在這種情況下沒有任何估計塊被分類為已探明的或控制礦產資源。表顯示了對每一類礦產資源而言，估計（克里格計算）次分佈的詳細情況。

表 7-26：按礦產資源分類劃分通過估計的分佈

種類	估計
----	----



SALOBO 礦場審計

	1	2	3
探明	87%	11%	2%
控制	45%	41%	14%
推斷	0%	38%	62%



7.13 礦物儲量估計

採礦模型

Vale 在 Gemcom 軟件中建立了一個全面長期礦產資源模型，模型構成了公開報告的礦產資源和礦產儲量的基礎。礦產資源塊模型在東西方向上的規整塊尺寸為 15 米，在南北方向上為 15 米，垂直方向上為 15 米。對每一個塊分配一個主要編碼以識別岩性範圍和 Cu、Cu_Eq、Au、Ag 的品位，礦產資源種類和開挖性等級（腐岩，半風化岩石和新鮮岩石）。

開採規劃方法

Salobo 的 24Mtpa 開採計劃由 NCL Brasil 於 2006 年 11 月開發。Vale 於 2008 年和 2009 年在內部對此研究進行了進一步更新。後一次更新是由於宏觀參數和由預開採工作與現場調查所提供的額外信息發生了變化。這些提供了新的地理技術和運行參數。該等工作相當於露天坑優化、開採設計和生產計劃。

Salobo 最新的礦產儲量估計的主要方面和假設為：

- 以 2009 年的條件為基礎更新成本和運營費用；
- 礦產資源模型更新，包括氧化物礦物，這些將被歸為排土堆；
- 對邊界品位策略進行調整，以減少 ROM 品位和的變化性和精粉生產率；
- 根據公司的預測，從 2009 年 5 月開始的金屬價格和匯率；
- 改進延時啟動設計，以便適用於 120Mtpa 的總岩石移動；
- 僅對已探明和控制種類中的硫化物資源指定開採規劃。

使用「Whittle Four-X」軟件進行露天坑優化。優化產生了一系列漸增性嵌套礦坑殼，最終礦坑殼將從其中選擇。隨後以漸增性殼的分組為指導，對延時啟動或階段進行了設計，殼的分組受到噸位、品位、采剝比及／或其他運行要求的限制。

一旦最終礦坑確定，將使用「Gemcom」軟件開發一個礦坑限度和延時啟動的詳細設計。隨後將進行邊界品位優化和生產計劃。對銅和黃金採用的長期價格分別為 1.98 美元/磅和 700 美元/盎司。

隨後，執行正常開採計劃程序中的傾倒設計、拖拉概況和設備隊確定以及成本估計。對於拖拉概況分析，使用「PLAN INT」軟件以計算和優化拖拉週期。生產規劃和相應的成本用於經濟評估。

Golder 建議，由 Vale 提供的各種計劃和報告說明此工作的執行已經達到工業標準。開採計劃節奏良好，並已由工程師進行正確執行。

短期勘探計劃

當前應用於 Sossego 礦場的短期勘探計劃方法策略也將應用於 Salobo。在實地考察期間，可以看到短期勘探計劃的人員已經積極參與到前期剝離的活動中。

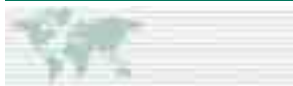


岩土參數

岩土調查和坡度推薦由 Sergio Brito Consultoria (SBC)於 2003 年進行，並由 BNV Engenharia 於 2007 年進行修訂。坡度角被分為七個坡度分脈，其中的一些有多個子區域。為了露天坑優化而採取的坡度角區域在表 7-27 和圖 7-39 中列出。

表 7-27：地質力學坡度分脈

分脈		斜坡間角度	總體角度
分脈 1	IB	52.02	42.95
	IC	52.02	43.77
	IC	52.02	
	IA	48.10	36.39
	IA	48.10	42.30
	IB	52.02	45.53
分脈 2	IIB	52.02	
	II	52.02	43.81
	II	52.02	
	IIA	48.10	42.89
分脈 3	IIIA	48.10	
	III	52.02	46.72
分脈 4	IV	52.02	42.94
分脈 5	V	52.02	46.50
	VA	48.10	40.58
	V	52.02	47.36
分脈 6	VI	52.02	



SALOBO 礦場審計

分脈		斜坡間角度	總體角度
	VI	52.02	
	VIA	48.10	42.05
	VI	52.02	47.71
	VI	52.02	47.21
	VIA	48.10	45.53
分脈 7	VII	52.02	50.36

在露天坑優化期間，對 **Salobo** 礦坑的坡度範圍進行了近似建模，礦坑坡度總體上就礦產儲量呈現了一個低風險區域。

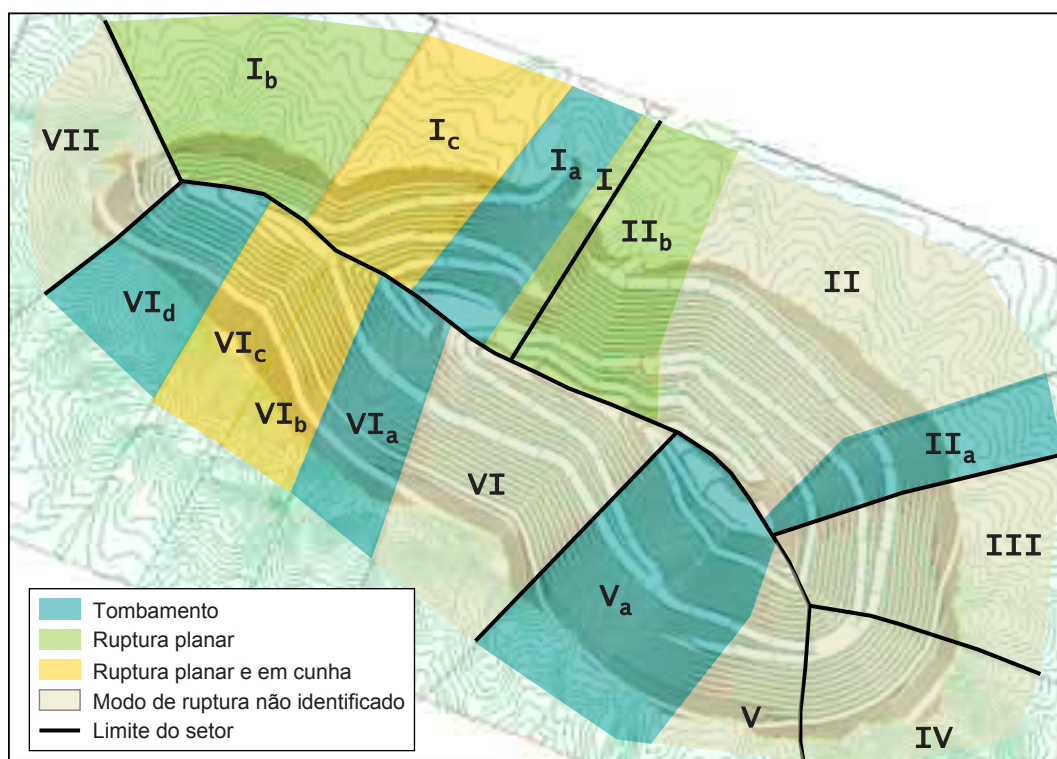


圖 7-39: Salobo 的礦坑設計和坡度區域



露天坑優化

礦產儲量估計最重要的方面是有可用的恰當礦坑概括。對於 Salobo，可通過執行 Whittle 優化來實現。

金屬價格和銷售成本

優化中使用的價格和銷售成本在表 7-28 中給出。這些值較為合理，並已正確應用於優化過程。

表 7-28：露天坑優化所用的金屬價格和銷售成本

項目	值
PrCu（美元/磅）	1.98
CvCu（美元/磅）	0.472
PrAu（美元/盎司）	700
CvAu（美元/盎司）	0.419

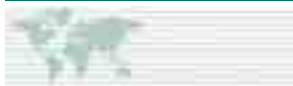
圖 7-40 給出了銅價格在過去 10 年中的歷史情況，以及 Vale 公司對露天坑優化和經濟估計所採用的金屬價格。圖 7-41 給出了相同的圖，但為黃金價格。



圖 7-40：國際市場銅價格的歷史情況和優化所使用長期價格



圖 7-41：國際市場黃金價格的歷史情況和優化所使用長期價格



用於露天坑優化的銅和黃金價格適合於礦物儲量的開發。尤其是，採用的價格符合公認的證交會指導方針，此方針建議使用小於或等於過去三年平均價格的數值。

開採成本

Vale 對露天坑優化所採用的基礎開採成本為 2.086 美元/噸。此外，還應用了一個開採成本修正因素（MCAF），以便按深度增加成本。對於海拔 250 以上的基準，成本增加為 0.0152 美元/噸。海拔 250 以下的基準，成本增加為 0.0433 美元/噸。因此，滿足此條件的 Whittle 函數為

$$MCAF = R(IZ, 1 + (52 - IZ) * 0.0433 / 2.086, 52, 1, 53, 1 + (IZ - 52) * 0.0152 / 2.086)$$

Golder 已經核實，開採成本和修正因素已經正確的錄入 Whittle 參數文件中。在參數文件和 Vale 提供的記錄之間沒有發現問題或矛盾。在優化過程中還考慮的 5%的礦物稀釋因素。

加工成本與回收率

優化中使用的加工成本包括一般成本和管理成本。加工成本以及銅和黃金的冶金回收在表 7-29 中給出。

表 7-29：用於露天坑優化的加工成本和浮選回收

加工成本 (美元/噸)	8.224
銅回收 (%)	$-0.023 * (1/Cu) + 0.9023$
黃金回收 (%)	$2.56 * (Au) + 64.9 / 100$

在圖 7-42 中，可以正確評價黃金和銅的回收變動。對於銅而言，塊模型中呈現的最高品位為 3.57%，這等同於 90%的最大回收，對黃金而言，塊模型中最高品位為 5.35 g/t，這一數字較為穩定，並且等同於 79%的回收。

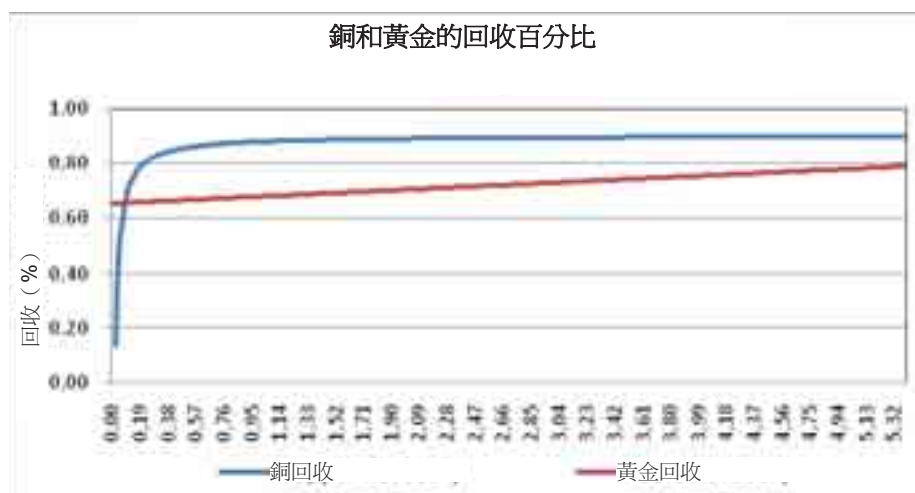
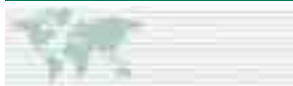


圖 7-42：銅和黃金的浮選回收



優化結果

結果以 Whittle 的文件格式提供。Golder 使用提供的文件獨立的在 Whittle 中執行了優化，並且 Vale 呈現的結果得到了精確的複現。

圖 7-43 呈現了一個礦坑對礦坑的圖，圖中顯示了最好情況下的未折算和折算的現金流。圖中也包含了每一個漸增性礦坑殼的礦物和廢品的噸數。優化中使用的收入因素對應於 0.93 美元/磅 到 2.87 美元/磅的價格。

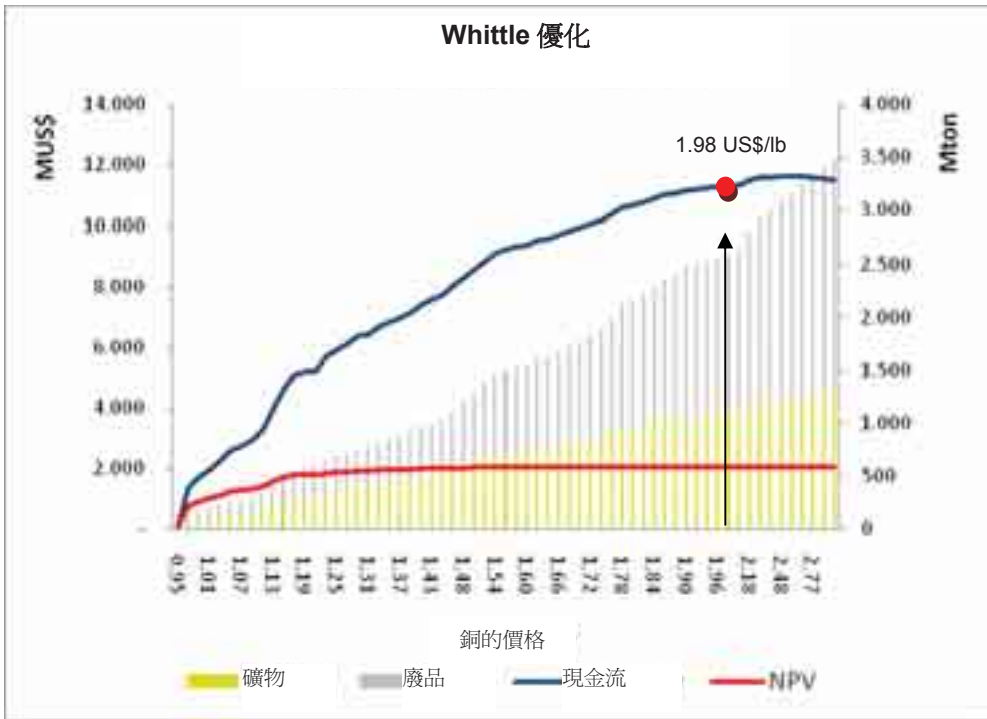


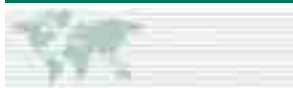
圖 7-43：優化結果：未折算現金流和淨現值

選擇標準

選擇的最終礦坑為 54 號，其所對應的銅的價格為 1.98 美元/磅。此礦坑包括了總共 1,110.9 Mt 的已探明和控制資源，並且銅和黃金的平均品位分別為 0.67% 和 0.41 g/t。表 7-30 顯示了 54 號礦坑的優化結果。

表 7-30: 按照 Whittle 對所選為最終礦坑限額的礦坑殼的結果

礦坑	價格 (Cu)	REM	總噸數 百萬噸	硫化物礦物			所含的礦物			Custo Total	總成本		NPV	UCF
	US\$/lb			百萬噸	%CuT	gpt Au	MtCu	MOz Au	Kt CuEq		US\$/lbEq	US\$/lbEq		
54	1.98	1.37	2,630.9	1,110.9	0.67	0.41	7,416.4	14.8	9,277.7	22,413.3	1.10	1.43	2,048.6	11,337.3



採礦設計

在最終礦坑極限選擇之後，必須制定對延遲啟動的最終礦坑設計以及運行設計。表 7-31 顯示了優化的噸位和設計的最終礦坑。對比的結果顯示了包括在運行設計中廢品數量的大幅增長。

表 7-31：Whittle 最終礦坑和運行設計之間的對比

項目	運行礦坑	Whittle 礦坑	增幅
總礦物	3,058,760	2,630,877	16%
廢品	1,935,383	1,520,026	27%
已礦化礦物	1,123,377	1,110,851	1%
REM	1.72	1.37	26%

圖 7-44 中呈現了礦坑設計和 Whittle 殼之間的視覺對比。此圖顯示，設計大體上遵守了優化輪廓，但是也注意到了一些重要的不同。

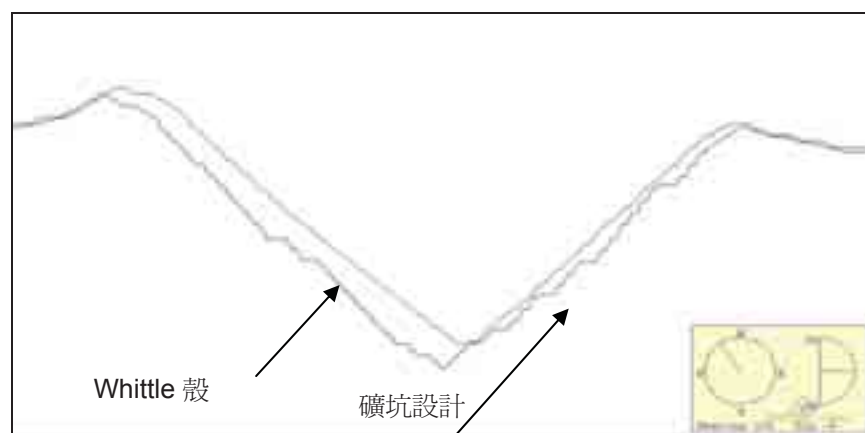


圖 7-44: 礦坑設計和 Whittle 殼之間的對比 — Sossego 礦坑

在延期啟動的設計中，考慮的操作寬度為 60 米。由於裝載和運送設備的尺寸，斜坡的寬度在 35 到 45 米之間，最大坡度為 10%。為了操作更靈活，設計的每一個延後啟動都有一個單獨的斜坡系統。



SALOBO 礦場審計

就廢品而言，噸數在最終礦坑設計和所選 **Whittle** 礦坑之間的差別被認為有些過度，並應當進行審查。差別可能是由於採礦設計中併入了一些空白時期。任何情況下此類程度的差異皆須以正確解釋適當錄入檔案。對於採礦設計優化，這也可以是一個可觀上漲潛力。露天礦坑開採之間的標準差異在 **5%** 和 **10%** 之間。

已經對由 **Vale** 執行的採礦設計應用了合適的岩土推薦。

開採設備

在 **Salobo** 的開採作業將包括鑽探，爆破，裝載和運送。採礦隊也包括所有支持工作區域、採礦通道、排土場和礦堆的額外支撐設備。表 7-32 顯示了 2010 年到 2020 年間，**Salobo** 礦場所用設備的總結，以及採礦隊的要求。

表 7-32: 當前開採設備

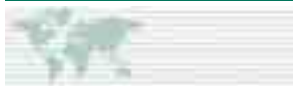
Equipamentos	DEMANDA TOTAL DE EQUIPAMENTOS										
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Perfuração	3	3	5	7	10	13	13	13	13	13	13
PERFURATRIZ DIESEL (12 1/4") - PIT VIPPER	2	2	2	3	4	6	6	6	6	6	6
PERFURATRIZ ELÉTRICA (12 1/4")	0	0	2	3	4	5	5	5	5	5	5
T4BH DIESEL (10")	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
Escavação	1	3	4	5	6	7	7	7	7	7	7
ESC. HIDRAULICA (38 jd3)	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
ESC. ELÉTRICA (42 jd3)	0	2	2	3	4	5	5	5	5	5	5
Carregamento	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
CARREGADEIRA DE PNEUS - LETORNEAU L1850	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
Transporte	12	20	27	32	38	46	46	48	44	47	59
KOMATSU - 830 - 240 TON	7	15	22	27	33	41	41	43	44	47	58
CAT 793 - 240 TON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
CAT 785	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	0
Infra Estrutura / Apoio	16	25	39	46	52	52	52	53	55	55	56
TRATOR DE ESTEIRAS CAT D10	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3
TRATOR DE ESTEIRAS - Komatsu 375	2	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5
TRATOR DE ESTEIRAS - Komatsu 475	2	3	4	4	5	5	5	5	5	5	5
TRATOR DE ESTEIRAS - CAT D6R	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
TRATOR DE PNEUS - Komatsu WD600	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
TRATOR DE PNEUS - Komatsu WD900	0	0	2	3	4	4	4	4	4	4	4
CAMINHÃO RODOVIÁRIO SCANIA 6X4 - 40 TON	0	0	5	9	9	9	9	10	10	10	10
MOTONIVELADORA - komatsu GD825	3	3	4	5	6	6	6	6	7	7	7
RETROESCAVADEIRA - Komatsu 450	3	3	4	5	5	5	5	5	5	5	5
PÁ CARREGADEIRA - CAT 988	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PIPA HD 785	1	1	2	2	3	3	3	3	4	4	4
PERFURATRIZ DE ESTEIRAS. 8 1/2 POL - TITON	0	0	2	2	3	3	3	3	3	3	3
PERFURATRIZ DE ESTEIRAS . 4 1/2 POL - ROC D7	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2

已經基於來自 **Sossego** 礦場的最近和歷史資訊對採礦設備的可用性，使用和生產率進行了評估，儘管認為這些數據略微低於工業標準值，但是數據對此類硬岩開採是可以接受的。

已經對在 **LOM** 計劃中考慮的開採設備組進行了審查，並且認為其適合作業的規模。

採礦貧化和礦石損失

在優化過程中考慮 5% 的採礦貧化因素。



邊界品位

爲了估計礦產儲量，對銅採用了 0.33% 的最優邊界品位。以下等式用於估計邊際邊界品位：

$$\text{邊界} = \text{CTP} / \{(\text{PrCu} - \text{CvCu}) * \text{RcCu} * \text{RfCu} * (100 - \text{PT}) * 22.0462 * 100\}$$

其中：

CTP= 加工, G&A 和再處理成本 (美元/噸)

PrCu = 銅的價格 (美元/磅)

CvCu = 銷售成本 (美元/磅)

RcCu = 銅精粉回收率

RfCu = 銅浮選回收率

PT = 運輸而導致的精粉損失

此等式定義了支付加工和管理成本所需的邊界品位，包括 0.4 美元/噸的再處理成本。表 7-33 顯示了用於估計邊界品位的值。

表 7-33：邊界品位計算所用值

項目	值
PrCu (美元/磅)	1.98
CvCu (美元/磅)	0.472
RcCu (%)	96.64
RfCu (%)	82.12
PT (%)	0.4
CTP (美元/噸)	8.624
邊界(%)	0.33

平均浮選回收率從以下等式中得到：

$$\text{RfCu} = f(\text{Cu}) = - 0.023 * (1/\text{Cu}) + 0.923$$



如 Cu 是區塊模型的平均品位， $Cu = 0.28\%$ 。

邊界品位為 0.33% 的銅用於估計 LOM 計劃，並且應用於相等的銅品位。評估基於成本，價格，和冶金回收率。對等價同品位(Cu_Eq)的一般表達如下：

$$Cu_Eq (\%) = Cu * [Au * k]$$

最初公式 (A):

$$k = [(PrAu - CvAu) * RcAu * RfAu * 31.1035] / [(PrCu - CvCu) * RcCu * RfCu * 22.0462]$$

修正的公式 (B):

$$k = [(PrAu - CvAu) * RcAu * RfAu] / [(PrCu - CvCu) * RcCu * RfCu * 22.0462 * 31.103]$$

其中:

- Cu = 銅品位 (%)
- Au = 黃金品位 (g/t)
- $PrAu$ = 黃金價格 (美元/盎司)
- $CvAu$ = 黃金銷售成本 (美元/盎司)
- $RcAu$ = 黃金精粉回收率 (%)
- $RfAu$ = 黃金浮選回收率 (%)
- $PrCu$ = 金價格 (美元/盎司)
- $CvCu$ = 銅的銷售成本 (美元/盎司)
- $RcCu$ = 銅的精粉回收率 (%)
- $RfCu$ = 銅的浮選回收率 (%)
- 31.103 = 轉換因素
- 22.0462 = 轉換因素

爲了最大化開採的現金收益淨值，使用了基於 K. Lane 1964 的算法的邊界品位策略，同時考慮了變動限制，加工能力和精粉需求。表 7-34 按期間呈現了邊界品位。內部和最優邊界之間的礦物大量儲存，以便將來加工。

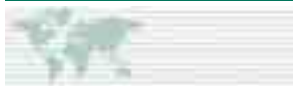
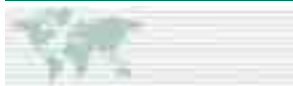


表 7-34：邊界品位策略

時期	邊界	時期	邊界
	% CuEq		% CuEq
2011	0.85	2036	0.33
2012	0.65	2037	0.33
2013	0.50	2038	0.33
2014	0.60	2039	0.33
2015	0.75	2040	0.33
2016	0.65	2041	0.33
2017	0.70	2042	0.33
2018	0.80	2043	0.33
2019	0.70	2044	0.33
2020	0.75	2045	0.33
2021	0.60	2046	0.33
2022	0.60	2047	0.33
2023	0.65	2048	0.33
2024	0.65	2049	0.33
2025	0.60	2050	0.33
2026	0.60	2051	0.33
2027	0.60	2052	0.33
2028	0.50	2053	0.33



時期	邊界	時期	邊界
	% CuEq		% CuEq
2029	0.33	2054	0.33
2030	0.33	2055	0.33
2031	0.33	2056	0.33
2032	0.33	2057	0.33
2033	0.33	2058	0.33
2034	0.33	2059	0.33
2035	0.33		

7.14 報告的礦產儲量

Golder Associates S.A. (Golder) 已經對由 Vale 人員對 Salobo 礦製作的礦產儲量評估進行了審查，並且認為所提供的數字適合國際標準下的公開報告，例如，美國證券交易委員會(SEC) 行業指引 7 和當前的 NI 43-101 標準。表 7-35 以適合公開報告的精確度呈現了 Salobo 礦產儲量數字。

表 7-35: 2010 年 6 月 30 日對 Salobo 項目估計的礦產儲量

礦區	已證實			可能			已證實和可能		
	噸數 [□] (Mt)	Cu (%)	Au (g/t)	噸數 [□] (Mt)	Cu (%)	Au (g/t)	噸數 [□] (Mt)	Cu (%)	Au (g/t)
Salobo	569.2	0.75	0.48	554.1	0.64	0.42	1123.3	0.7	0.45

□ 以乾公噸表示

Golder 接受 Vale 採用的將礦產資源轉變為礦產儲量的程序。Golder 已經對數字進行了檢查，並且認為這些數字適合用於公開報告，在這些數字中，礦產儲量對預計可開採礦物提供了一個可接受的預期。

礦產資源估計到礦產儲量的轉換以恰當的採礦設計和計劃為基礎。以適合的經濟邊界品位對噸數和品位進行了報告。



7.15 調節和儲量審核

以前的工作

Golder Associates 的礦評估服務小組沒有參與之前的與 Salobo 礦產儲量有關的資源估計和採礦計劃。

對已報告的礦產資源和 Vale 資產的礦產儲量進行審核開始於 1997 年，以支持美國證券交易委員會(SEC)對一份 F-3 表格的存檔，此存檔乃為在紐約證券交易所首次上市和公開銷售 Vale 股份之要求。從 1997 年初期審核開始到 1999 年儲量審核完成期間，外部核數師來自美國的礦物資源發展公司(MRDI)。MRDI 於 2000 年 5 月被 AMEC 收購，隨後到 2002 年底的審核工作就由 AMEC 完成，但是相關的人員都是在之前 MRDI 工作中的人員。

對 Salobo 項目的礦產資源審核開始於 2003 年末期，並由 AMEC Plc.於 2004 年早期完成。Pincock 及 Allen & Holt (PAH)顧問工程公司指出，2004 年的審核報告（作為當前審核的背景）就對鑽探，取樣和分析實務和開發地質模型的建立以及解釋品位變化和礦產資源評估進行審核與審查而言，此報告之編製相當專業。我們注意到，項目的其他方面（PAH 認為這些方面在將一個礦產資源界定為可開採儲量方面非常重要，例如，採礦和加工成本，監管機構的許可和審批，以及採礦的法律權利）並沒有在之前的 AMEC 審計中得到解決，因為 AMEC 僅是陳述了 Salobo 的資源。

2006 年 12 月 31 日，PAH 開始對 Salobo 銅-金項目提供礦產儲量估計審核。AMEC 於 2004 年早期為 Salobo 項目進行了資源審核。此報告的編製是為了支援由美國證券交易委員會(SEC)對 Vale 的 20F 年度報告進行存檔。

Pincock, Allen 和 Holt (PAH)在 2008 年 2 月為 Salobo 礦區提供儲量報告。在 2009 年 4 月，Snowden 開採工業顧問公司（簡稱「Snowden」）進行了對 Vale 巴西的 Salobo 項目的礦產資源審計。審計用於測試評估與以下指導方針的合規性。

- 用於報告開採結果，礦產資源，和礦物儲量的 2004 年澳大利亞標準「JORC」(2004)。
- 用於評估和報告礦產資源和礦物儲備的業界最佳實務。

品位控制

在 Salobo 礦的品位控制將以爆破孔數據為基礎，同時將使用目前應用於 Sossego 礦的相似程序。

就 Sossego 而言，並非對所有的爆破孔都進行取樣。地質專家將負責確定取哪一個樣本。樣本將發送到工廠試驗室進行分析。分析結果將送到地質部門以便將其輸入礦物控制數據庫。地質專家將負責制作礦化情況多邊形以便導入至「派遣系統」。

生產控制

此派遣系統將用於控制所有採礦設備的活動。在 Sossego 礦使用的開採調節實踐被認為具有很高的標準，並且 Salobo 礦也應當照搬採用。

7.16 環境

在 1992 年，編製和提交了對環境影響的環境影響分析/報告(EIA/RIMA)之後，對 Salobo 項目的初步許可證於 1994 年 9 月頒發，許可證編號為 33/94。在編製項目的初步可行性研究的過程中，項目定義發生了改變，並



且對初步許可證製作了一個修訂以作為第一次更新。初步許可證更新於 2001 年 9 月收到，截至日期為 2003 年 9 月。

安裝許可證之申請提交於 2003 年 5 月。在有關部門進行了全面的審查過程之後，編號為 416/2006 的安裝許可證於 2006 年 12 月 28 日由 IBAMA 頒發，並且其有效期為 4 年。許可證需要滿足 SMSA 的 94 個特定條件。

在 2004 年 1 月的「環境管理計劃」中包括了一個概念性的回收和關閉計劃，當概念性明確時，關閉計劃遵守了業界普遍接受的實務。

Golder 人員在現場訪問期間，就採礦的環境方面的問題採訪了 Salobo 的環境小組。

Vale 持有所有巴西法律要求的運營 Salobo 礦區的環境許可。Golder 目前還沒發現與運營中環境方面有關的重大缺陷。

7.17 社區和政府事務

關於當地社區和政府事務方面，還沒有發現任何問題將對 Salobo 的礦物儲備造成巨大的風險。當地社區（州政府和聯邦政府）支援在該地區的採礦活動。

最近的大城市是 Parauapebas (85 公里)，由於存在大量的採礦活動，這座城市是巴西發展最快的城市。

7.18 經營成本

Vale 對 Salobo 項目估計的經營成本載於表 7-36。

表 7-36：經營成本

採礦成本	2.24 USD/t
加工成本	7.9 USD/t
後勤	35.18 USD/t conc.
一般費用與行政費用	\$ 25 M

露天坑優化和經濟分析都使用了合理的經營成本作為長期估計。消耗品成本以當前 Sossego 的合約為根據。

7.19 資本成本

預計總資本開支為 13.42 億美元，包括建設費用和持續投資。

資本成本和其他持續投資費用已適當納入經濟評估。



7.20 稅款

在巴西，共有 7 種不同的稅款，關稅和版稅，這些稅由聯邦，省或市政的有關部門徵收。對現金流的法律稅為 CFEM（企業所得稅）和 CSLL（公司利潤的社會貢獻）也是一個所得稅對在每一個礦物協會而言，CFEM 是變動的。此外，根據產品的市場對象（國內外市場）的不同，稅款也不同。就 Salobo 而言，假定是濃縮 50,000 噸的銅，並於 2014 年開始在國內市場銷售，則剩餘部分將售往國外市場。

所得稅根據毛利潤（收入小於經營成本將減少）計算，並固定為 25%。CSLL 固定為 9%。對國內產品而言，所有稅收的聯合稅率大約為 15%，對國外產品，大約在 15%到 20%之間。

7.21 礦產儲量的經濟性評估

Golder 顧問並沒有得到 Salobo 貼現現金流量（DCF）電子錶模型的副本；但是，Golder 獲准在安全的 Vale 計算機上查看和審計 DCF 模型以獲得對模型的理解，以便評估模型的準確性並測試項目對關鍵輸入變量的敏感度。

關鍵假設

Salobo 項目經濟分析中使用的關鍵參數總結載於《「礦產儲量外部審計」，卷 1，整理報告，關鍵假設》。

Salobo 現金流量評估

現金流量預測基於 2008 年的經濟模型，該模型反應了以下假設：

- 財務計算基於稅後折算
- 稅務根據本報告中第 7.20 節的討論計算。賦稅優惠期，遞延及追回均包括在經濟模型中（如適用且適合）
- 所有成本及價格均以未升值的「實際」美元計
- 經營成本包括固定的和可變的現金開採成本（基於開採計劃），以及研磨及交付的可變現金成本，並假設均乃基於公司實際成本
- 關閉現金成本作為兩期年度資本，納入開採年限的最後兩年中
- 單位成本假設基於 2009 年計劃界定的金屬產量（Golder 未做評審）
- 未來單位成本假設假定金屬產量相似
- 資金成本包括所有相關部門的預期支出
- 產量僅以 Salobo 礦產儲量為準；外部供應或精粉並未納入此經濟分析中
- 對銅的研磨回收以研磨模型為準，並更新相關因數以匹配產量計劃（Golder 未做評審）。
- 收入乃基於證監會報告要求（三年波動平均價格），從可回收金屬和長期預測金屬價格和匯率計算而得。銷售銅精粉的收入包括其中，並以包含的金屬，相關因數和長期預測金屬價格和匯率為基礎。

敏感度分析

Golder 獲准在安全的 Vale 計算機上查看和審計 DCF 模型以獲得對模型的理解，以便評估模型的準確性並對測試項目關鍵輸入變量的敏感度。



可以觀察到，模型包括建設成本，改造及關閉成本，詳細的聯邦和地方稅額，以及持續的資本減免。基本個案成本和價格假定於 2009 年模型發佈後更新，這些變化亦已反映於模型中。

在基本個案現金流量中，單獨年份均使用三年波動平均價格假定方案。使用 DCF 電子錶時，對價格和成本假設做出重大修改，以測試項目經濟狀況的穩健程度。由於 Golder 未獲提供模型，因而無法開展細緻的敏感度分析；但是，所測試個案對於銅價，資本支出，經營成本和外匯做出 $\pm 20\%$ 之變動，五個百分點增長。此外，Golder 測試了貼現率介於 6%至 10%、0.5 個百分點增長時的變化效果。

結果已在圖圖 中呈列。

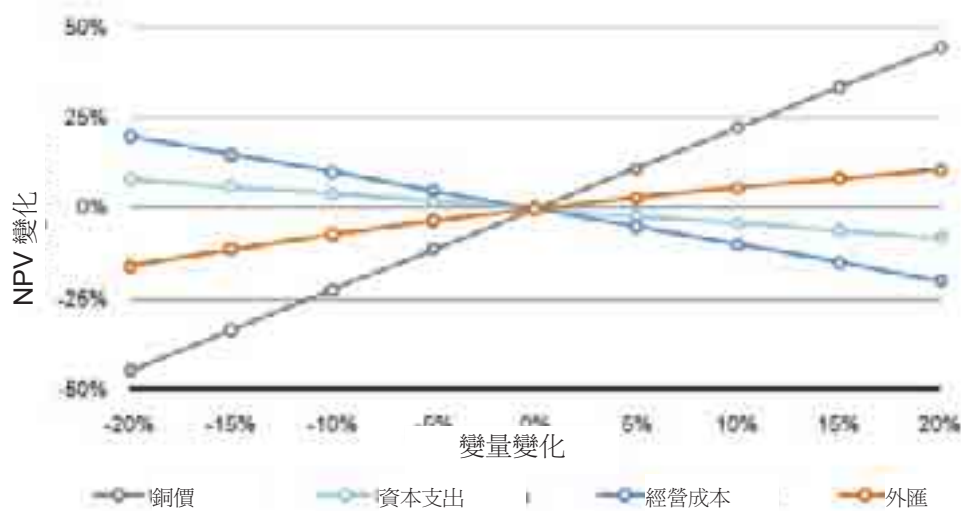


圖 7-45：Salobo 敏感度分析

現金收益淨值對銅價非常敏感，其他變量影響相對較小，但仍然十分明顯。鎳價被認為是一個非常重要的價值驅動因素。現金收益淨值對資本支出的敏感度最小，這很可能是因為大部分建設資本均已實際花費。

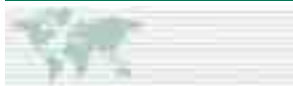
結論及建議

在採用的成本及價格假設方案中（Vale 和三年波動平均值），積極的項目經濟狀況，促進礦產資源轉化為礦產儲量。根據敏感度分析，在所有測試的個案中，現金收益淨值一直為正數，這表明了項目經濟狀況較為穩健。

7.22 礦區服務年限

LOM 計劃是對一個現金流分析的輸入，分析說明了運營的經濟可靠性和因此而產生的礦產儲量。對 Salobo 礦的 LOM 計劃適用於從 2010 到 2047 之間 37 年時間。此外，工廠將一直運營到 2059 年，期間加工低品位礦物。

圖 7-46 載有 Salobo 礦採礦計劃的生命期，涵蓋了 2009 年和 2010 年的前期剝離階段，直到 2059 年。



SALOBO 礦場審計

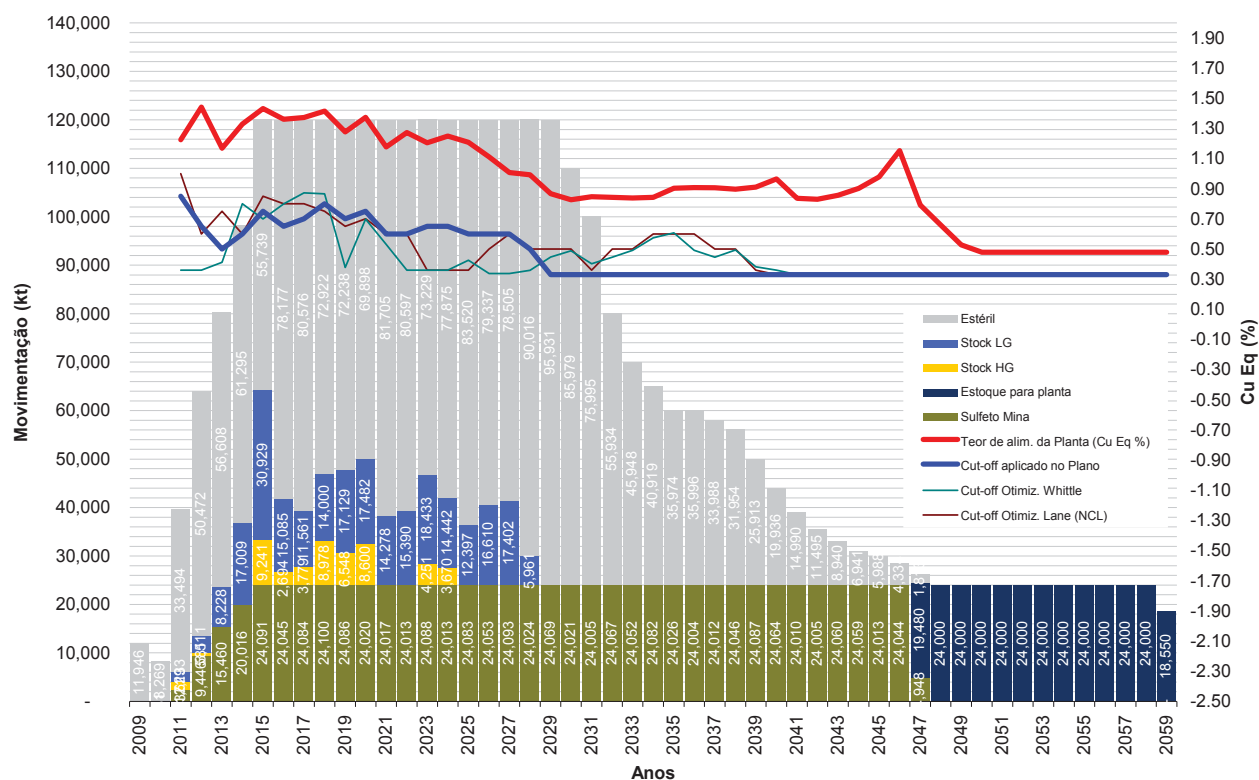


圖 7-46: 對 Salobo 礦區的生產計劃



SALOBO AREA AUDIT

報告簽名頁

GOLDER ASSOCIATES S.A.

Marcelo Godoy

礦物儲量總分析師 (CP)

Ronald Turner

高級資源地質專家 (CP)

MG/CB/RT/lsc/dh

Golder, Golder Associates 和 GA 全球設計乃為 Golder Associates Corporation 之註冊商標。

c:\golder\projects\10-1117-0032_vale_global_audit\reports\filling\posted\update\vale_reserve_audit_v2_s7_salobo_filing_2010_09_21.docx

有效日期：2010 年 6 月 30 日

圖目編號：10-1117-0032 Phase 7000



在 Golder Associates，我們致力於成為最受敬仰的全球集團公司，專門提供地面工程及環境服務。自 1960 年成立至今，我們一直擁有穩固的員工隊伍，我們創造了一種以員工身份為榮的獨特文化，使我們的組織得以長期穩定。Golder 專業人員長久以來努力在其經營中建立對客戶需求和特殊環境的認識。我們將繼續與非洲、亞洲、澳洲、歐洲、北美及南美各現經營辦事處員工一起，拓展自身技術實力並打造穩步發展。

非洲
亞洲
澳洲
歐洲
北美
南美

+ 27 11 254 4800
+ 852 2562 3858
+ 61 3 8582 3500
+ 356 21 42 30 20
+ 1 800 275 3281
+ 55 21 0095 9500

solutions@golder.com
www.golder.com

Golder Associates South America Ltd.
Av.11 de Septiembre 2353 - Piso 2
Providencia
Santiago
Chile
電話： +56 (2) 594 2000

